# Der künstlich belüftete Tropfkörper

## Biologische Vorgänge, Schlammbekämpfung, Leistungssteigerung

Von der
Technischen Hochschule zu Breslau
zur
Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs
genehmigte

DISSERTATION

Vorgelegt von

Ingenieur RUDOLF PÖNNINGER

aus Beuthen O/S.

Berichterstatter (Referent): Prof. HARTLEB

Mitberichterstatter (Korreferent): Prof. Dr.-Ing. BEGER

Mündliche Prüfung abgelegt am 24. August 1937

1937

DRUCK VON R. OLDENBOURG · MÜNCHEN

# Der künstlich belüftete Tropfkörper

## Biologische Vorgänge, Schlammbekämpfung, Leistungssteigerung

Von der
Technischen Hochschule zu Breslau
zur
Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs
genehmigte

DISSERTATION

Vorgelegt von

Ingenieur RUDOLF PÖNNINGER

aus Beuthen O/S.

Berichterstatter (Referent): Prof. HARTLEB

Mitberichterstatter (Korreferent): Prof. Dr.-Ing. BEGER

Mündliche Prüfung abgelegt am 24. August 1937

1937

DRUCK VON R. OLDENBOURG · MÜNCHEN

*44438

# Inhaltsverzeichnis.


| | Seite |
|---|---|
| I. Zweck der Untersuchungen | 3 |
| II. Beschreibung des Versuchskörpers | 4 |
| III. Schilderung des Versuchsverlaufes | 5 |
| 1. Erster Versuchsabschnitt | 5 |
| 2. Zweiter Versuchsabschnitt | 7 |
| 3. Dritter Versuchsabschnitt | 9 |
| IV. Ergebnisse des Versuches | 10 |
| 1. Temperaturverhältnisse | 10 |
| 2. Biologische Beobachtungen | 12 |
| a) Psychoda | 12 |
| b) Wasserspringschwanz | 16 |
| c) Sonstige höher organisierte Lebewesen | 16 |
| d) Mikroorganismen | 16 |
| e) Zusammenfassung | 17 |
| 3. Künstliche Belüftung | 18 |
| a) Geruchsfrage | 18 |
| b) Fliegenfrage | 18 |
| c) Luftdichtigkeit und Druckverhältnisse | 18 |
| d) Saugen oder Drücken | 19 |
| e) Einfluß der Belüftung | 19 |
| f) Zusammenfassung | 21 |
| 4. Leistung des Verfahrens | 21 |
| 5. Grundlagen für die Bemessung der Beuthener Kläranlage | 23 |
| 6. Schlußbetrachtung | 24 |
| V. Schrifttum | 24 |
| VI. Lebenslauf des Verfassers | 25 |


R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Erscheint auch als Beiheft zum Gesundheits-Ingenieur Reihe II, Heft 18, 1938
Verlag von R. Oldenbourg, München und Berlin 1937

# I. Zweck der Untersuchungen.

Im Geburtsjahr des Dritten Reiches war es auch der Stadt Beuthen (Ob.-Schles.) möglich geworden, den langgehegten Plan des Um- und Erweiterungsbaues ihrer veralteten und unzureichend gewordenen Kläranlage nach neuzeitlichen Gesichtspunkten durchzuführen. Für die Erstellung der mechanischen Reinigung in Verbindung mit einer Schlammausfaulung und Gasverwertung lag der Entwurf fertig vor, da durch die Erfahrungen auf diesem Gebiet im letzten Jahrzehnt kaum noch grundsätzliche Fragen zu klären waren. Nicht so einfach aber lagen die Verhältnisse bezüglich der Wahl einer geeigneten biologischen Reinigungsanlage.

Die Stadt Beuthen mit etwa 100000 Einwohnern liegt inmitten des oberschlesischen Industriegebietes, das sich ausschließlich auf das reiche Kohle- und Erzvorkommen in dieser Gegend gründet. Ungünstige Vorflutverhältnisse veranlaßten die Ende des vergangenen Jahrhunderts rasch aufblühende Industriestadt, schon frühzeitig für die Beseitigung und Reinigung ihrer Abwässer Sorge zu tragen. Schon in den Jahren 1903 bis 1905 wurde im Zuge der Entwässerung des Stadtgebietes eine Kläranlage erstellt und auch eine biologische Reinigungsanlage nach Art der Dunbarschen Schalen ausgebaut. Nach 30 Jahren war naturgemäß die Anlage in allen Teilen infolge der Fortschritte in der technischen Abwasserreinigung veraltet und durch die inzwischen erfolgte Vergrößerung der Einwohnerzahl auch viel zu klein geworden.

Die Anlage, die seinerzeit am Außenrand der Stadt errichtet wurde, ist heute durch die Ausbreitung der bebauten Wohnfläche von drei Seiten von Wohnhäusern umgeben und damit fast in das Weichbild der Stadt gerückt. Die neue Anlage mußte daher die ungeheuer lästig gewordene Geruchs- und Fliegenplage unbedingt bannen. Der einfachste Weg, eine neue Kläranlage genügend weit abseits zu errichten, war nicht gangbar, da durch die Teilung Oberschlesiens im Jahre 1923 die Reichsgrenze an drei Seiten mit der Stadtgrenze zusammenfällt und der Vorfluter selbst bald hinter der Kläranlage die Reichsgrenze überschreitet, um allerdings später wieder deutschen Boden zu durchfließen. Dieser Vorfluter mit einer normalen Wassermenge, die kaum größer ist als die größte Trockenwettermenge der Stadt, stellt einen richtigen Industriebach dar und wird hauptsächlich durch aufgepumptes Grubenwasser und Abflüsse aus Erz- und Kohlenwäschen gespeist und läßt an Reinheit viel zu wünschen übrig. Er durfte daher keinesfalls noch durch städtische Abwässer organisch verunreinigt werden.

Die Frage der mechanischen Reinigung konnte durch Errichtung von Absetzbecken mit maschineller Schlammausräumung in jeder Beziehung befriedigend gelöst werden. Für die biologische Reinigung waren aber folgende Bedingungen zu erfüllen:

1. Guter biologischer Reinigungserfolg mit unbedingt fäulnisunfähigem Abfluß.
2. Vermeidung jeder Belästigung der anliegenden Wohnhäuser durch unangenehme Gerüche und durch Fliegen.
3. Möglichst einfaches und betriebssicheres Arbeiten der Anlage, um die Überwachung und Wartung durch besonders geschulte Fachkräfte zu vermeiden.
4. Weitgehende Mitverwertung des in großen Mengen in den vorhandenen Dunbarschen Schalen eingebauten Schlackenmaterials.
5. Berücksichtigung der Auswirkungen des Grubenabbaues auf die Erdoberfläche bei der baulichen Gestaltung der Anlage.
6. Geringe Herstellungs- und Betriebskosten.

Die ersten zwei Punkte hätte nach dem derzeitigen Stand der Reinigungstechnik zweifellos am besten ein Verfahren mit Schlammbelebung durch künstliche Belüftung und Umwälzung des Abwassers erfüllt. Eingehende Untersuchungen an Hand von Vorentwürfen und anschließende Kostenvergleiche zeigten jedoch verschiedene Nachteile. Bau- und Betriebskosten waren verhältnismäßig hoch und sorgfältigste Überwachung der Anlage durch eine chemisch vorgebildete Kraft zweifellos Voraussetzung weitgehender Betriebssicherheit. Langgestreckte Becken waren mit Rücksicht auf den Grubenabbau baulich ungünstig und vor allem konnte die vorhandene vorzügliche Generatorenschlacke der alten Anlage nicht verwertet werden. Diese Schlacke stellte jedoch in doppeltem Sinne ein nicht zu unterschätzendes Wertobjekt dar. Ihre Wiederverwendung senkte die Baukosten und vermied zugleich die teure Ausräumung und Beseitigung der Schlacke zur Gewinnung des Baugeländes. Alle diese Umstände zwangen naturgemäß dazu, die Errichtung von Tropfkörpern in Erwägung zu ziehen. Große Betriebssicherheit bei einfacher Bedienung, der bekannte gute biologische Reinigungserfolg, Senkung der Baukosten durch Verwertung der vorhandenen Schlacke und nicht zuletzt die verhältnismäßige Unempfindlichkeit von Tropfkörperanlagen gegen Auswirkungen des Grubenabbaues sprachen unbedingt dafür. Nicht befriedigen konnte nur die allbekannte Geruchs- und Fliegenplage und die Gefahr der Verschlammung des Schlackenmaterials. Eine dritte, heute unbedingt erstrebenswerte Lösung, nämlich die landwirtschaftliche Verwertung des Abwassers durch Berieselung oder Verregnung mußte leider aus wirtschaftlichen Gründen ganz ausscheiden, da infolge der bekannten Grenzlage Beuthens entsprechendes Gelände in der Nähe nicht vorhanden ist.

Der einzige Ausweg wurde daher in einem Vorschlag aus der Abwasserreinigungsindustrie erblickt, nämlich den Versuch mit künstlich belüfteten Tropfkörpern zu wagen. Das Verfahren war zu diesem Zeitpunkte im Deutschen Reiche in größerem Umfange noch nicht versucht worden, es lagen jedoch sehr günstige Ergebnisse einer kleinen Versuchsanlage vor[1]). Auch die Geruchs- und Fliegenplage glaubte man durch die vollkommen luftdichte Umschließung des Tropfkörpers beseitigen zu können, so daß dieses Verfahren die gestellten Bedingungen zu erfüllen schien. Die durch die künstliche Belüftung mögliche höhere Belastung des Tropfkörpers versprach außerdem noch eine wesentliche Kostenersparnis. Da Mittel für den Ausbau der gesamten biologischen Reinigungsanlage in nächster Zeit nicht zur Verfügung standen, entschloß sich daher die Stadtverwaltung, einen Versuchskörper in normaler Größe zu errichten und das Verfahren selbst auf seine Eignung zu prüfen.

[1]) Es ist meines Wissens das Verdienst Blunks, erstmalig den künstlich belüfteten Tropfkörper nach dieser Bauart vorgeschlagen zu haben. Es ist mir ein Bedürfnis, Herrn Blunk für wertvolle Anregungen und überlassene Vergleichsergebnisse an dieser Stelle herzlich Dank zu sagen.

Durch den Versuch sollten also folgende Fragen geklärt werden:

1. Kann durch die Umschließung und künstliche Belüftung des Tropfkörpers die Geruchs- und Fliegenplage gebannt werden?
2. Ist durch erhöhte Belastung des Tropfkörpers eine Verschlammung oder Verstopfung zu befürchten und wie kann ihr begegnet werden?
3. Welche Leistung kann durch die künstliche Belüftung unter den gegebenen Verhältnissen erzielt werden?

## II. Beschreibung des Versuchskörpers.

Der Tropfkörper gleicht im Aufbau den üblichen mit Drehsprenger beschickten offenen Tropfkörperanlagen. Abb. 1 zeigt die Gesamtansicht der Anlage und Abb. 2 den Schnitt durch den Tropfkörper. Auf einer durch Halbschalen entwässerten Sohle aus Eisenbeton wurde die Schlacke in folgender Körnung aufgeschichtet: Auf den Halbschalen liegt zunächst eine 40 cm starke Tragschicht aus 10 bis 16 cm großen Schlackenstücken und darüber die eigentliche Reinigungsschicht aus Schlacke von 3 bis 5 cm Korngröße (Körnung I). Die Gesamthöhe beträgt 3,80 m, der Durchmesser 14,5 m, so daß sich der gesamte Schlackeninhalt mit 627 m³ ergibt. Die stark eisenhaltige Generatorenschlacke hat in zerkleinertem Zustande im wesentlichen rundliche Gestalt, doch eine sehr gezackte und zerklüftete Oberfläche, kann also nach den üblichen Erfahrungen für die biologische Reinigung als günstig angesprochen werden. Der ganze Schlackenkörper ist von einem zylindrischen Eisenbeton-

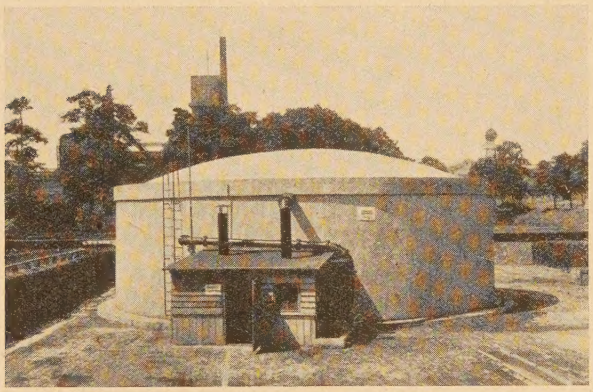

Abb. 1. Ansicht des Versuchskörpers.

mantel luftdicht umschlossen und durch eine Eisenbetonkuppel abgedeckt. In der Mitte des Kuppelraumes mündet das Luftsaugerohr. Die Außenluft wird an einer Stelle des sonst luftdicht abgeschlossenen Umluftkanals angesaugt und tritt in die Sohlenkanäle ein. Der Abflußkanal ist daher durch eine Tauchwand an der Abflußseite unter Wasserverschluß gehalten. Die Luft wird im Kuppelraum abgesaugt, also im Gegenstrom zum Wasser durch die Schlacke geleitet, wofür zwei kleine Exhaustoren in der Saugleitung vorgesehen wurden. An der Lufteintrittsstelle des Umluftkanals wurde eine Heizeinrichtung zur Erwärmung der Zuluft im Winter angeordnet, da bei tiefen Temperaturen Vereisung in den Abluftkanälen befürchtet wurde. Das Abwasser wird in der üblichen Weise durch einen Drehsprenger auf der Oberfläche des Tropfkörpers verteilt. Da es sich um einen Vakuumkörper handelt, wurde die Betonhülle außen dicht geputzt und innen zur Abhaltung der Feuchtigkeit, zweimal mit Inertol gestrichen.

Nach Angabe der Lieferfirma war nach den Ergebnissen der Vorversuche der Betrieb folgendermaßen geplant: Der Körper sollte ohne Unterbrechung, also abweichend von dem üblichen Verfahren ohne Einschaltung von Ruhezeiten mit Abwasser beschickt werden. Desgleichen sollte ununterbrochen Luft durchgesaugt werden. Durch die andauernde Durchlüftung soll die sich bildende Kohlensäure fortwährend abgesaugt und dem biologischen Rasen der für die biochemischen Vorgänge notwendige Sauerstoff zugeführt werden. Man erhoffte sich dadurch eine Steigerung der Belastung bis auf ein Vielfaches der sonst üblichen Belastung offener und mit Unterbrechungen beschickter Tropfkörper. Durch ununterbrochene Beschickung wurde auch eine gleichmäßigere Reinigung erwartet und vor allem glaubte man dadurch die Gesamtleistung ohne zeitweise Überbelastung leichter steigern zu können. Alle übrigen Verhältnisse sollten durch den Versuch selbst geklärt werden, da Erfahrungen zu dieser Zeit noch nicht vorlagen. So war noch unbekannt, mit welchen Luftmengen zu rechnen sei, wie hoch der erforderliche Unterdruck sein muß und vor allem, wie sich der Tropfkörper im Winter verhält. Für alle Fälle war daher die Heizanlage zur Erwärmung der angesaugten Luft vorgesehen, die durch das anfallende Faulgas der Schlammfaulanlage gespeist wurde. Für die Reinigung des Drehsprengers und die laufende Untersuchung der Verschlammung befinden sich in der Kuppel zwei Einsteigeöffnungen, die durch luftdicht schließende Klappfenster abgedeckt sind.

Da die Kläranlage am Rande der Stadt liegt und das städtische Entwässerungsnetz im allgemeinen gutes Gefälle besitzt, kommt das Abwasser immer in frischem Zustande an. Es hat gelblich-grünliche oder bräunlich-graue Farbe,

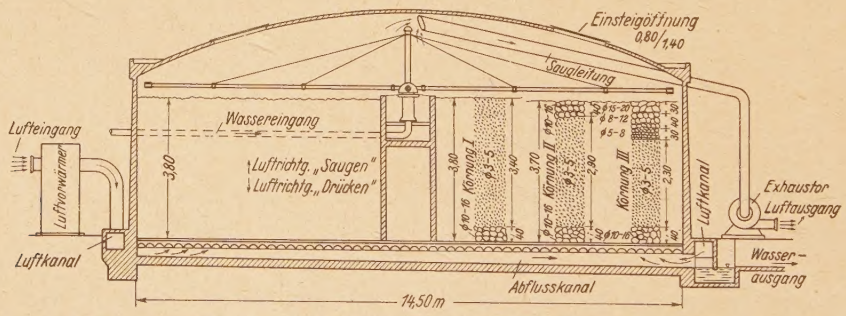


Abb. 2. Schnitt durch den Tropfkörper.

leicht fäkalen Geruch und ist bei der Entnahme immer frei von Schwefelwasserstoff. Das Abwasser wird zunächst in Absetzbecken gut entschlammt und ist bei eineinhalbstündiger Durchflußzeit durch diese noch immer in gleich frischem Zustande. Die laufend mit dem Imhoff-Kelch abgenommenen Absetzproben des vorgereinigten Abwassers zeigen im Durchschnitt 0 bis 0,2 cm³/l absetzbare Stoffe nach 2 h. Der Wasserverbrauch der Stadt Beuthen ist gering und betrug während der Versuchszeit nur 80 bis 90 l je Kopf und Tag. Das Abwasser war daher als stark konzentriert anzusprechen. Da die Stadt nach dem Mischsystem entwässert ist, gelangen auch Regenwässer in die Kläranlage, die jedoch nur bis zur fünffach verdünnten Trockenwettermenge durchgeleitet werden.

# III. Schilderung des Versuchsverlaufes.

## 1. Erster Versuchsabschnitt.

Der Verlauf des ersten Versuchsabschnittes wurde in Abb. 3 zeichnerisch dargestellt.

In größeren Zeitabständen wurden bei langsam steigender Belastung Abwasserproben entnommen und vom Flußwasseruntersuchungsamt in Breslau auf den erzielten Reinigungserfolg chemisch geprüft. Außerdem wurde das Abwasser fast täglich durch einfach auszuführende chemische Untersuchungen auf die Gleichmäßigkeit der Reinigung nachgeprüft. So wurde laufend der $p_H$-Wert, die Anwesenheit von Nitriten, Nitraten und von gelöstem Sauerstoff qualitativ festgestellt und Proben mit Bleiazetatpapier in verschlossenen Flaschen zehn Tage lang aufbewahrt. Zeigte sich innerhalb dieser Zeit keine Bräunung, dann wurde am zehnten Tag mit Brucin in der bekannten Weise (1) die Anwesenheit von Nitraten festgestellt. Solange diese, wenn auch in Spuren, vorhanden waren, konnte mit Sicherheit auf die Fäulnisunfähigkeit geschlossen werden, da faulige Zersetzung erst nach vollkommenem Verbrauch des Nitratsauerstoffes eintreten kann. Außerdem wurde noch täglich mehrmals der Gehalt des Abflusses an absetzbaren Stoffen festgestellt und der Mittelwert in Abb. 3 aufgetragen.

Pfützenbildung die Verteilung des Abwassers störte und die gleichmäßige Luftdurchsaugung durch den ganzen Körper behinderte. Da der Betrieb so nicht weitergeführt werden konnte, wurde der Tropfkörper am 28. Juli stillgelegt, die Luftdurchsaugung jedoch beibehalten. Sodann wurde die Kleinschlacke 50 cm tief abgetragen und Grobkorn von 10 bis 16 cm Dmr. in 40 cm Stärke aufgebracht. (Körnung II der Abb. 2.) Die Verminderung der Gesamthöhe des Tropfkörpers um 10 cm erfolgte zwecks Vergrößerung des Abstandes zwischen Drehsprenger und Schlacke, so daß forthin für die Reinigung des Abwassers nur mehr die Höhe von 3,70 m vorhanden war. Das Schlackenvolumen verringerte sich somit auf 610 m³.

In der 11. Betriebswoche wurde die Beschickung des Körpers mit 1,4 m³ Abwasser je m³ Material und Tag wieder aufgenommen und nach wenigen Tagen auf 1,7 m³ und später auf 2 m³ gesteigert, ohne daß die laufende chemische Prüfung eine Einbuße des Reinigungserfolges erkennen ließ. In der 14. Betriebswoche wurde zum ersten Male an einigen Stellen die Grobschlacke aufgehoben und auf der darunterliegenden Kleinschlacke in 40 cm Tiefe Schlammansammlung und Pfützenbildung festgestellt. Derselbe Zustand, der sich früher an der Oberfläche der Kleinschlacke bildete,

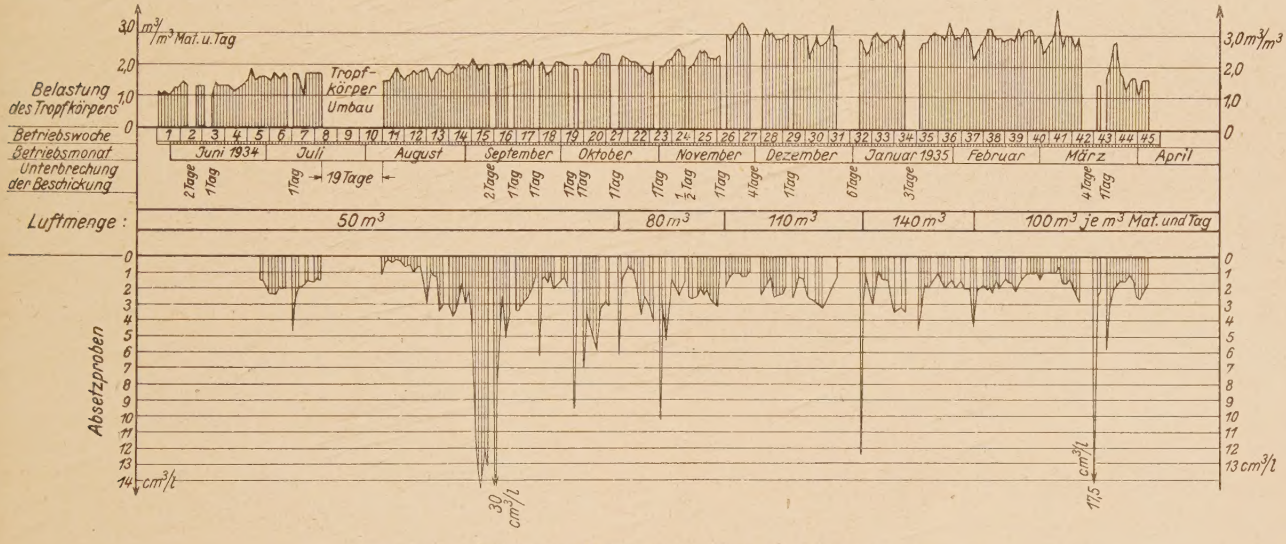


Abb. 3. Betriebsergebnisse des 1. Versuchsabschnittes.

In den ersten Maitagen des Jahres 1934 wurde mit der Beschickung des Tropfkörpers begonnen. Zunächst wurde der Körper mit 1 m³ Abwasser je m³ Material und Tag beschickt und diese Belastung während der Reifungszeit bis etwa Ende Mai beibehalten. Der Betrieb erfolgte plangemäß ohne jede Unterbrechung täglich durch 24 h. Da der Körper auch bei stärkster Belastung nur einen Bruchteil der täglich auf der Kläranlage anfallenden Abwassermenge verarbeiten konnte, war die Beibehaltung jeder Belastung auch während der Nachtzeit möglich. Nach etwa 14 Tagen war die Schlacke so weit gereift, daß das Abwasser vollkommen klar zum Abfluß gelangte. Anfang Juni wurde mit der allmählichen Steigerung der Belastung begonnen. Die durchgesaugte Luftmenge betrug ungefähr das 30 bis 40fache der jeweiligen Wassermenge und wurde ebenfalls der Belastung entsprechend gesteigert (Abb. 3).

Anfang Juli 1934 machte sich eine immer stärker werdende oberflächliche Verschlammung des verhältnismäßig kleinen Schlackenkornes bemerkbar, die allmählich zur Pfützenbildung führte. Durch die eintägige Unterbrechung der Beschickung am Ende der 6. Betriebswoche, bei unverändert anhaltender Luftdurchsaugung, verschwand die Verschlammung wohl, doch stellte sich diese nach einigen Tagen wieder ein. Es war klar, daß diese Verschlammung und trat nun 40 cm tiefer auf. Daraufhin wurde fast täglich die Grobschlacke an verschiedenen Stellen aufgenommen und die darunterliegende Kleinschlacke nachgeprüft. In der 15. Betriebswoche blieb der Zustand unverändert. Verschlammung und Pfützenbildung wurde unter der Grobschlacke laufend festgestellt und in dem Luftraum unter der Kuppel machte sich starker Fäulnisgeruch bemerkbar. Der ununterbrochene Betrieb konnte demnach doch nicht aufrechterhalten werden. Die Beschickung wurde daher am 9. September durch 2 Tage ausgesetzt. Daraufhin verschwanden Schlamm und Pfützen vollständig und zeigten sich auch in der folgenden Woche nicht mehr. Der Betrieb wurde nun dahin abgeändert, daß im Abstand von 8 bis 14 Tagen, je nach dem Befund der Kleinschlacke, eine eintägige Betriebsruhe eingeschaltet wurde, um eine Schlammansammlung auf der Kleinschlacke zu vermeiden.

Die Beschickung wurde in den Monaten November und Dezember weiter bis auf 3 m³ Abwasser je m³ Material gesteigert und auch durchgehalten. Durch diese Steigerung machte sich zunächst eine starke Abschwächung bei der laufenden Prüfung auf Anwesenheit von Nitriten und Nitraten bemerkbar. Obwohl sich der Zustand wieder besserte, konnte man doch erkennen, daß eine weitere Steigerung der Belastung nicht mehr ratsam schien, wollte man

auf jederzeit fäulnisunfähigen Abfluß nicht verzichten. Die mehrtägigen Unterbrechungen in der 27., 31. und 34. Betriebswoche waren durch technische Betriebsstörungen bedingt. Jedesmal zeigte sich aber, daß auch durch mehrtägige Unterbrechungen die Reinigungskraft des Tropfkörpers nicht gelitten hatte und die Beschickung sofort wieder in gleicher Höhe aufgenommen werden konnte.

Nachdem der Tropfkörper durch 8 Wochen hindurch bewiesen hatte, daß er bei der bisher eingehaltenen Beschickungsart mit Ruhetagen in längeren Zeitabständen, einer Belastung von 3,0 m³ Abwasser je m³ Material und Tag gewachsen war, wurde nochmals durch den gleichen Zeitraum versucht ohne Unterbrechung zu beschicken, in dem Bewußtsein, gegebenenfalls eine weitgehende Verschlammung in Kauf zu nehmen. Zunächst zeigte sich keine Veränderung, und erst am Ende der 41. Betriebswoche erbrachte die tägliche Prüfung starken Rückgang der Nitrite und Nitrate und in der 42. Betriebswoche ließen sich zum erstenmal Spuren von Schwefelwasserstoff in der zehn Tage lang aufbewahrten Probe vom 13. März feststellen. Auch durch mehrtägige Belüftung ohne Beschickung in der 42. Betriebswoche konnte eine durchgreifende Besserung des Reinigungserfolges nicht mehr erzielt werden, da der Versuch starker Beschickung wieder zur Schwefelwasserstoffbildung innerhalb von zehn Tagen führte. Wohl konnte anschließend bei geringerer Belastung noch gute Reinigung erreicht werden, doch war eine Steigerung der Beschickung zunächst scheinbar nicht möglich. Der Versuch wurde daher abgebrochen und die Beschickung mit Abwasser am 4. April vorderhand zwecks genauer Untersuchung des Körperzustandes eingestellt. Die Belüftung ging jedoch unverändert weiter.

Diese vorübergehende Einstellung des Betriebes war auch aus rein technischen Gründen notwendig, da zu diesem Zeitpunkt das Nachklärbecken fertiggestellt war und der Anschluß dieses Beckens an den Tropfkörper verschiedene bauliche Änderungen an dessen Abflußseite erforderlich machte. Um die Ursachen des Versagens des Tropfkörpers bei ununterbrochener Beschickung genauer zu erforschen, wurde sofort nach der Einstellung der Beschickung im Schlackenkörper ein Loch von 2 m² Größe bis zu einer Tiefe von 1,40 m ausgeschachtet. Der Befund ist in Abb. 4 dargestellt.

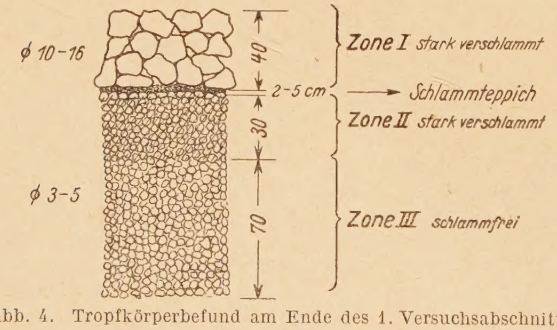


Abb. 4. Tropfkörperbefund am Ende des 1. Versuchsabschnittes.

Die obere 40 cm starke Schlackenschicht mit Korngröße von 10 bis 16 cm Dmr. war von einer mehrere Millimeter bis fingerdicken Schlammhaut von hellgrauer bis gelblicher Färbung überzogen, die an der Schlacke festhaftete (Zone I). Auf der darunter befindlichen Kleinschlacke von 3 bis 5 cm Korngröße war zunächst ein fast durchgehender Schlammteppich von mehreren Zentimetern Stärke erkennbar, der nur an einigen Stellen durchbrochen schien. Diese Schlammablagerung war an der Oberseite gleichfalls von gelblichgrauer Färbung, die nach der Tiefe zu in einen schwarzgrauen Farbton überging.

In Zone II zeigte sich auf 30 cm Tiefe die Schlacke vollkommen schlammdurchsetzt und waren Hohlräume nicht mehr erkennbar. Diese Schlammablagerung hatte schwärzliche Farbe und nur schwachen, fäkalen Geruch, haftete an der Schlacke nicht mehr und war durch Wasser leicht abspülbar. In den Zonen I und II waren Lebewesen mit freiem Auge und mit der Lupe nicht erkennbar.

Das Bild änderte sich sprungartig in Zone III. Hier war die Schlacke schlammfrei, d. h. nur mit einer dünnen, glasigen Schleimhaut überzogen und hatte lufterfüllte Hohlräume. In diesen Hohlräumen war die Schmetterlingsmücke Psychoda zahlreich vertreten und ihre Larven in großen Mengen auf Schlackenstücken feststellbar. Da sich bis zu einer Tiefe von 1,40 m dieser Zustand nicht änderte, konnte man wohl annehmen, daß die Schlacke bis zur Tropfkörpersohle schlammfrei war.

Dieser Verschlammungszustand wurde nun während des vier Wochen dauernden Stillstandes des Körpers laufend beobachtet. Um den aeroben Zustand möglichst zu erhalten, wurde mit beiden Exhaustoren etwa 140 m³ Luft je m³ Material und Tag durchgesaugt. Nach fünftägigem Stillstand war starker Geruch nach Ammoniak wahrnehmbar, der einige Tage anhielt und wieder verschwand. Die Abluft roch weiterhin stark dumpfig-modrig, jedoch keineswegs aufdringlich oder unangenehm. Schwefelwasserstoff oder andere widrige Fäulnisgerüche wurden nicht wahrgenommen. Gegen Ende der Ruhezeit wurde auch dieser modrige Geruch immer schwächer, ohne jedoch ganz zu verschwinden. Etwa acht Tage nach Stillegung konnte ein Massenauftreten der Psychoda festgestellt werden, so daß die Schlacke teilweise wie mit einer lebenden Haut von Mücken bedeckt erschien (Abb. 5). Der Schlamm zeigte im Laufe der vier Wochen etwa folgende Veränderungen.

Zone I: Die gelbliche Schlammschicht der Grobschlacke (Abb. 6) trocknete langsam oberflächlich ab und ließ sich in zusammenhängenden Häuten von der Schlacke abziehen (Abb. 7). Die Unterseite dieser Haut war schwärzlich verfärbt und sehr feucht. Diese feuchten Schlammhäute stellten zweifellos einen günstigen Nährboden für die Psychodalarven dar, die sich in großen Mengen ansiedelten. Durch

Abb. 5. Schlackenstück pelzartig mit Psychodamücken bedeckt.

Abb. 6. Schlammüberzogenes Schlackenstück.

Zahlentafel 1.

| Tropfkörper | | Zufluß | Abfluß | Zufluß | Abfluß | Abfluß | Zufluß | Abfluß | Abfluß | Zufluß | Abfluß | Abfluß | Zufluß | Abfluß | Abfluß | Zufluß | Abfluß | Zufluß | Abfluß | Abfluß |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Betriebswoche | | Einarbeitungszeit | | 2 | | | 5 | | | 8 | | | 17 | | | 27 | | 28 | | 36 | | |
| Tag der Entnahme | | 15. 5. 1934 | | 5. 6. 1934 | | | 27. 6. 1934 | | | 18. 7. 1934 | | | 18. 9. 1934 | | | 28. 11. 1934 | | 4. 12. 1934 | | 30. 1. 1935 | | |
| Stunde der Entnahme | | 12h 30m | 12h 30m | 12h 30m | 12h 45m | 13h 20m | 10h | 10h 15m | 10h 45m | 8h 20m | 9h 10m | 9h 50m | 14h 45m | 15h 15m | 15h 45m | 12h 25m | 13h 10m | 13h 30m | 16h 10m | 16h 25m | 11h 15m | 12h 10m | 12h 10m |
| Chlor gebunden | | 185 | 200 | 285 | 250 | 210 | 280 | 140 | 150 | 138 | 110 | 126 | 265 | 275 | — | 305 | 295 | 295 | 185 | 186 | 275 | — | 205 |
| Gesamt-Nitrat- | Stickstoff | 99,4 | 25,2 | 119 | — | — | 103,6 | — | — | 68,6 | — | — | 110,6 | — | — | — | — | — | — | — | 147 | — | 91,6 |
| | | n. n. | deutl. | n. n. | deutl. | deutl. | n. n. | viel | viel | n. n. | viel | viel | n. n. | 20—30 | 20—30 | n. n. | n. n. | n. n. | n. n. | n. n. | n. n. | 5 | 25 |
| Nitrit- | | n. n. | deutl. | n. n. | viel | viel | n. n. | viel | viel | n. n. | viel | viel | n. n. | 5 | 5 | n. n. | mehr als 5 | mehr als 5 | n. n. | unter 0,1 | n. n. | 5 | 5 |
| Ammoniak- | | 58,8 | 14,0 | 65,8 | 15,4 | 18,2 | 72,8 | 4,2 | 8,4 | 54,6 | 9,8 | 12,6 | 61,6 | 36,4 | 35,0 | 137,2 | 63 | 68,6 | 50,4 | 44,8 | 114,8 | — | 49 |
| Organischer | | 40,6 | 11,2 | 53,2 | 8,4 | 7,7 | 30,8 | 5,6 | 16,8 | 14,0 | 7,0 | 7,0 | 49,0 | 18,2 | 23,8 | 33,6 | 14,0 | 14,6 | 39,2 | 10,5 | 32,2 | — | 12,6 |
| Kaliumpermanganatverbrauch | | 366,6 | 94,8 | 354 | 88,5 | 82,2 | 278 | 47,4 | 50,6 | 113,8 | 44,2 | 45,8 | 379 | 114 | 114 | 328,6 | 145,4 | 145,4 | 265,4 | 94,8 | 303,4 | 135,9 | 129,6 |
| Abnahme in % | | — | 74 | — | 75 | 77 | — | 83 | 82 | — | 61 | 60 | — | 70 | 70 | — | 56 | 56 | — | 64 | — | 55 | 58 |
| Biochem. Sauerstoffbedarf (BSB 5) | | 464 | 19 | 535 | 27,7 | 21,8 | — | — | — | 143 | 30 | 22,4 | 387 | 24 | 26 | 349 | 67 | 61 | 226 | 21 | 330 | — | 33,6 |
| Abnahme in % | | — | 96 | — | 95 | 96 | — | — | — | — | 79 | 84 | — | 94 | 93 | — | 81 | 83 | — | 91 | — | — | 90 |
| Faulprobe positiv nach | | 1/2 St. | — | sof. | — | — | 1/2 St. | — | — | 1/2 St. | — | — | 1/4 St. | — | — | 1/4 St. | 6 St. | 6 St. | 1/4 St. | — | sof. | — | — |
| Faulprobe negativ nach | | — | 6 St. | — | 6 St. | 6 St. | — | 6 St. | 6 St. | — | 6 St. | 6 St. | — | 6 St. | 6 St. | — | — | — | — | 6 St. | — | 6 St. | 6 St. |
| Schwefelwasserstoff positiv nach | | — | — | 2 Tg. | — | — | 2 Tg. | — | — | Beim Eing. | — | — | Beim Eing. | — | — | Beim Eing. | — | — | 2 Tg. | — | 1 Tg. | — | — |
| Schwefelwasserstoff negativ nach | | — | 8 Tg. | — | 7 Tg. | 7 Tg. | — | 10 Tg. | 10 Tg. | — | 10 Tg. | 10 Tg. | — | 10 Tg. | 10 Tg. | — | 10 Tg. | 10 Tg. | — | 10 Tg. | — | — | — |
| Belastung pro m³ Mat. und Tag | | 1,1 : 1 | | 1,3 : 1 | | | 1,4 : 1 | | | 1,7 : 1 | | | 2,0 :1 | | | 3,2 : 1 | | 3,2 : 1 | | 2,8 : 1 | | |

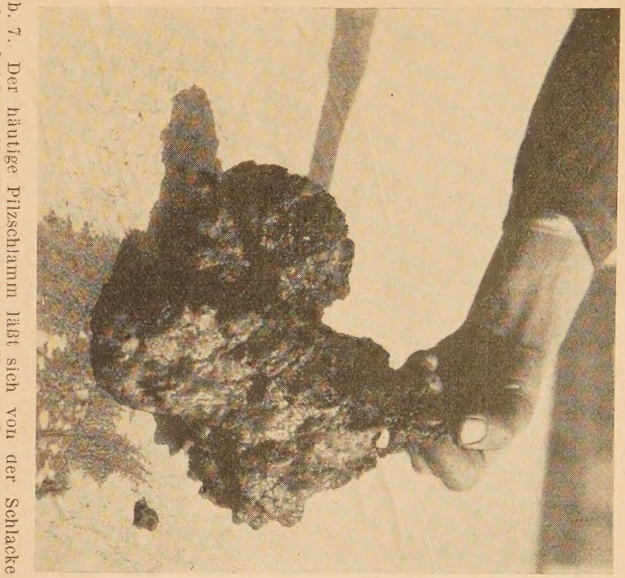

Abb. 7. Der häutige Pilzschlamm läßt sich von der Schlacke in Fladen abziehen. Oberfläche hellgebgrau, Unterseite schwarzglänzend.

die Freßtätigkeit dieser Lebewesen und die zweifellos nebenhergehenden Zersetzungs- und Fäulnisvorgänge wurden die festen Schlammhäute allmählich vollständig zerstört und nach vier Wochen in losen, schwärzlichen Schlamm verwandelt, der die Schlacke in einer Stärke von 0,5 bis 1 mm bedeckte und durch Wasser leicht abspülbar war. Dieser Schlamm war am Ende der Ruheperiode völlig geruchlos und zeigte mit Bleiazetatpapier angesetzt auch nach acht Tagen keine Spur von Schwefelwasserstoff.

Zone II: Der auf der Kleinschlacke abgelagerte Schlammteppich war nach vier Wochen Stillstand fast völlig verschwunden. Die Kleinschlacke selbst zeigte sich zwar noch schlammhaltig, doch war dieser Schlamm stark von Larven der Psychoda durchsetzt, von schwärzlicher Farbe und leicht abschwemmbar. Bemerkenswert war noch, daß selbst durch die vierwöchige Ruhezeit von einer Abtrocknung des Körpers nicht gesprochen werden konnte. Nur die oberste Schlackenlage war an der Oberfläche trocken, während der ganze übrige Teil des Schlackenkörpers in feuchtem Zustand erhalten blieb, obwohl die Außentemperaturen zu dieser Zeit teilweise sommerlich warm waren und Regenfälle durch die Kuppel abgehalten wurden.

Eine abschließende Übersicht über die erzielten Reinigungsergebnisse in diesem Versuchsabschnitt zeigt die Zahlentafel 1. Die Abwasserproben wurden fallweise an das Flußwasseruntersuchungsamt in Breslau gesandt, konnten daher erst nach 24 h der chemischen Analyse unterworfen werden. Bei der Beurteilung dieser Ergebnisse ist besonders darauf zu achten, daß die Proben zu verschiedenen Tagesstunden entnommen wurden und daher von der wechselnden Konzentration des Abwassers im Laufe des Tages stark beeinflußt sind. Sämtliche Untersuchungen beziehen sich auf filtriertes Abwasser, nur die Schwefelwasserstoffprobe wurde mit unfiltriertem Abwasser angesetzt. Die in der Abb. 3 eingetragenen Absetzproben des Ablaufes, die einen außergewöhnlich unregelmäßigen Verlauf zeigen, werden im Zusammenhang mit ihren Ursachen noch eingehend zu erörtern sein.

### 2. Zweiter Versuchsabschnitt.

Die wichtigste Aufgabe der weiteren Untersuchungen bestand zunächst darin, ein geeignetes Beschickungsverfahren zu finden, bei dem die Verschlammungsgefahr auf die Dauer gebannt werden konnte. Der erste Versuchsabschnitt zeigte bereits deutlich, daß die Ursache in übermäßigem Pilzwachstum und starken Wucherungen der Bakterien-

schleime in den obersten Schlackenschichten lag und daß von dort aus bei ununterbrochener Beschickung die Verschlammung langsam nach unten fortschritt. Als wirksamstes Mittel zur Bekämpfung dieser Verschlammung hatte sich die Aussetzung der Beschickung erwiesen, die auch die Entwicklung der Psychoda günstig zu beeinflussen schien. Die Larven dieser Mücken beteiligten sich auch zweifellos

gezeichnet wurde. Ergänzend muß noch bemerkt werden, daß die Luft, zum Unterschied vom ersten Versuchsabschnitt, diesmal von oben nach unten durchgedrückt wurde, also in der Richtung des Wasserweges den Körper durchströmte.

Zunächst wurde der Tropfkörper durch neun Tage, vom 6. bis 14. Mai, ohne Unterbrechung, jedoch nur mit 1 m³ Abwasser je m³ Material und Tag beschickt. Die Abflüsse

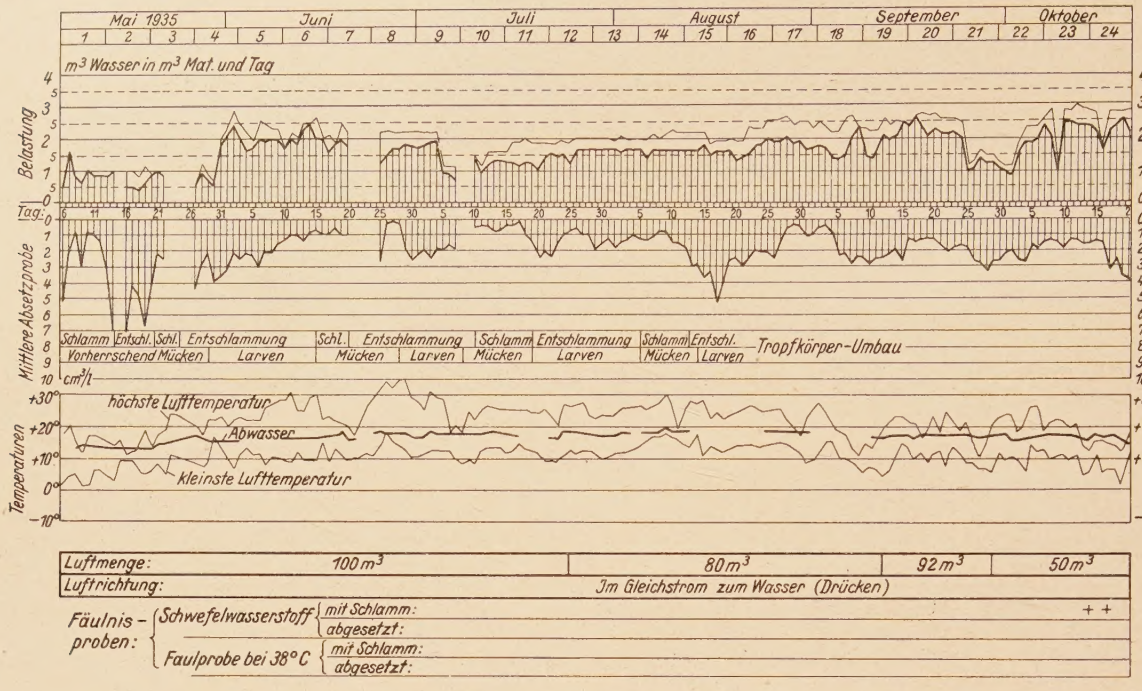


Abb. 8a. Betriebsergebnisse des 2. Versuchsabschnittes.

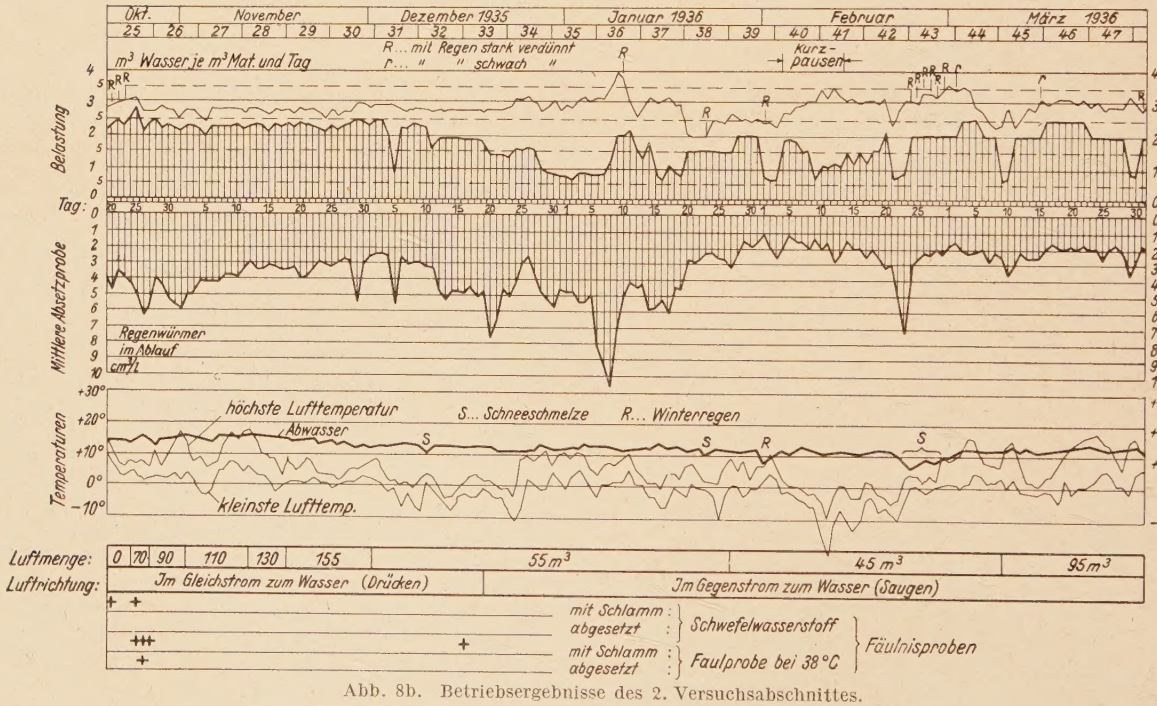


Abb. 8b. Betriebsergebnisse des 2. Versuchsabschnittes.

maßgebend an dem Schlammabbau. Die Darstellung des Versuchsverlaufes des 2. Versuchsabschnittes zeigt Abb. 8a und b, auf die bei den weiteren Ausführungen laufend hingewiesen wird. Zur besseren Übersicht wurde auch in diesen Aufzeichnungen an der Unterteilung in Betriebswochen festgehalten. Auch die Absetzproben des Ablaufes wurden genau festgestellt, indem die Proben im Zeitabstand von 2 h entnommen und das gezogene Tagesmittel laufend auf-

zeigten sofort und auch laufend gut geklärtes Wasser mit sehr viel Nitriten und Nitraten. Doch schon am neunten Tag zwang starke Ausbreitung der Pilzdecken zu einer Unterbrechung der Beschickung. Trotz der geringen Belastung hatte sich an der groben Schlackenschicht wieder zum Teil fingerdicker, schmutzig-gelber Schlamm abgelagert und auch die darunterliegende Kleinschlacke war mit einem gleichfarbigen Schlammteppich abgedeckt. Durch die ein-

tägige Unterbrechung ging der Schlamm sofort stark zurück, während die Psychoda in Massen auftrat. Um die Einwirkung der Unterbrechung auf die Schlammanhäufung genauer kennenzulernen, wurde nunmehr der Einfluß der Einschaltung von Ruhezeiten planmäßig untersucht.

Zum Verständnis der Aufzeichnungen der Abb. 8 muß hier eine Bemerkung eingeschaltet werden. Es wird von nun an unterschieden zwischen spezifischer Belastung, d. i. jene tägliche Wassermenge bezogen auf die Schlackeneinheit, die bei einer bestimmten Belastung bei ununterbrochener Beschickung durch 24 h auf den Tropfkörper aufgebracht werden würde und zwischen der täglichen Leistung des Tropfkörpers, d. i. der Quotient aus der tatsächlich täglich aufgebrachten Wassermenge, geteilt durch das Schlakkenvolumen. Dadurch ergeben sich zwei Linienzüge, die in ihren lotrechten Abständen das Verhältnis der Ruhepause zur Beschickungszeit je Tag anzeigen. Wenn beide Linien sich berühren, wurde an diesem Tag durch 24 h ununterbrochen beschickt (Abb. 8).

Im nächsten Versuchsabschnitt vom 16. bis 22. Mai wurde zuerst durch vier Tage je Tag 12 h beschickt und 12 h pausiert, sodann durch weitere drei Tage ohne Unterbrechung beschickt. Solange Pausen eingelegt wurden, zeigten sich sehr starke Schlammabsätze im Ablauf, die jedoch bei ununterbrochener Beschickung sofort stark zurückgingen. Sobald jedoch nicht mehr pausiert wurde, sammelte sich an der Grobschlacke wieder fühlbar Schlamm an. Um den Schlamm wieder zu beseitigen, wurde daher der Körper vier Tage stillgelegt (Abb. 8a). Diese Beobachtungen in den ersten drei Betriebswochen zeigten deutlich, daß die Einlage der täglichen Ruhepause der Oberflächenverschlammung sehr günstig entgegenwirkte. Es ergab sich nun die weitere Frage, wie lang diese Pausen sein müssen, damit der günstige Einfluß auch erhalten blieb.

In der folgenden Versuchszeit (4. bis 7. Betriebswoche) wurden in den ersten zwölf Tagen 4- bis 5stündige Pausen in den frühen Morgenstunden eingelegt und die Belastung auf 2 : 1 gesteigert. Die Folge war eine ganz außergewöhnlich starke Vermehrung der Psychodalarven und restlose Entschlammung der oberen Schlackenschichten. Die nachfolgende Kürzung der Ruhepausen und der Versuch auch nur 48stündiger ununterbrochener Beschickung endete jedoch wieder mit starker Verschlammung, so daß in der 7. Betriebswoche abermals eine mehrtägige Ruhepause eingeschaltet werden mußte. Damit war bewiesen, daß die täglichen Ruhepausen notwendig und zweckmäßig waren, doch mußte diese Beschickungsart noch im Dauerbetrieb erprobt werden. Bis zum November 1935 ergaben sich keine grundlegend neuen Gesichtspunkte. Die zweckmäßigste Pausenlänge betrug 4 bis 8 h täglich und wurde jeweils entsprechend der Neigung zur Verschlammung bemessen. Die Belastung des Tropfkörpers wurde allmählich gesteigert und alle Abweichungen in der stetig ansteigenden Linie sind durch gleichlaufende Sonderuntersuchungen verursacht worden.

Der plötzliche Übergang vom 10 bis 16 cm großen Schlackenkorn zum Kleinkorn machte sich trotzdem laufend unangenehm bemerkbar, da abrutschende Schlammfladen durch das große Korn gegen die direkte Einwirkung des Wassers geschützt, vielfach auf dem Kleinkorn liegen blieben und faulende Schlammbänke bildeten. Es kam daher nur ein allmählicher Übergang von dem bereits bewährten groben Korn bis zu dem vorhandenen Kleinkorn in Betracht. Dieser Kornaufbau ist in Abb. 2 unter Körnung III angegeben. In der 30 cm mächtigen Decklage wurde die Schlackengröße mit 15 bis 20 cm Dmr. beibehalten. Darunter folgten zwei Übergangsschichten von 40 und 30 cm Mächtigkeit mit der Korngröße von 5 bis 12 cm Dmr., an die sich dann die vorhandene Schlacke mit 3 bis 5 cm Dmr. anschloß. Der Umbau begann am 20. August und war am 13. September beendet. Um die Beschickung nicht unterbrechen zu müssen, wurden die Arbeiten in den täglichen Ruhepausen ausgeführt, die zu diesem Zwecke in die Vormittagsstunden verlegt und nach Bedarf bis auf 6 und 8 h ausgedehnt wurden.

Mit Eintritt der kühleren Jahreszeit begann sich der Schlamm wieder zu vermehren und wenn auch infolge der groben Schlackenpackung die Hohlräume nicht mehr verstopft werden konnten, bestand doch die Gefahr, daß an der Übergangszone zur Kleinschlacke Verschlammung auftreten könnte. Tatsächlich wurden in der 29. Betriebswoche erstmalig in 1 m Tiefe solche Schlammansammlungen festgestellt. An diesen Stellen waren die Hohlräume der Kleinschlacke in einer waagerechten Schicht durch schwärzlichen, wäßrigen Schlamm vollkommen versetzt, so daß hier der Luftdurchtritt praktisch nicht möglich war. Daneben fanden sich jedoch wieder Stellen, die vollkommen luftdurchlässig waren. Da die Reinigungswirkung des Tropfkörpers zu dieser Zeit nachgelassen hatte, wurde der Versuch unternommen, durch Verlängerung der täglichen Ruhepausen den Körper restlos zu entschlammen. Dieser Versuch glückte auch und die hohen Absätze des Ablaufes bewiesen deutlich, welch ungeheure Schlammengen von der 32. bis zur 37. Betriebswoche dadurch abgestoßen wurden. Auch die Schlammbänke in tieferen Lagen verschwanden vollkommen.

Im Februar 1936 wurde noch der Versuch unternommen, durch Einschaltung von halb- und einstündigen Pausen, die über den ganzen Tag verteilt wurden, der Verschlammung entgegenzuwirken. Der Erfolg blieb aus, wie man an der Absetzkurve der 40. und 41. Betriebswoche leicht erkennen kann. Dagegen hatten die drei Langpausen in der 42. Betriebswoche sofort wieder einen kräftigen Schlammabstoß zur Folge. Es erwies sich also doch als vorteilhaft, in gewissen Zeitabständen solche Langpausen einzuschieben, und der weitere Versuchsverlauf in den nächsten Monaten zeigte bei dieser Beschickungsart wieder bessere Reinigungsergebnisse.

Auch im 2. Versuchsabschnitt wurde der Ablauf des Tropfkörpers täglich auf seine Haltbarkeit geprüft. Außer der Schwefelwasserstoffprüfung wurde noch die Faulprobe nach Spitta-Weldert zur Prüfung mit herangezogen (1). Das gereinigte Abwasser zeigte sich mit vereinzelten Ausnahmen stets fäulnisunfähig. Auf die Ausnahmen und ihre Ursachen wird noch zurückzukommen sein.

### 3. Dritter Versuchsabschnitt.

In diesem Versuchsabschnitt sollten die gewonnenen Erkenntnisse durch ein ganzes Jahr erprobt werden. Das Ergebnis zeigt Abb. 9a und b. Erstrebt wurde eine Durchschnittsleistung von mindestens 2 : 1. Die grundlegende Beschickungsart bestand darin, daß täglich eine Ruhepause von 4 bis 8 h eingelegt wurde, während in gleichmäßigen Zeitabständen zwei Langpausen von 16 h Dauer eingeschaltet wurden. In den Monaten Juli-August wurde für Sonderuntersuchungen die Belastung vorübergehend gesenkt, da in dieser Jahreszeit das gleichmäßige Arbeiten des Tropfkörpers für solche Untersuchungen die beste Grundlage bietet. Vereinzelt wurde auch wieder der Einfluß einer 24stündigen Ruhepause nachgeprüft. Im Winter ergab sich wieder starke Neigung zur Verschlammung, die in wirkungsvoller Weise teils durch Einschaltung von Langpausen, teils durch tageweises Aussetzen der Beschickung mit Erfolg bekämpft werden konnte.

Sehr aufschlußreich ist die Bestimmung des biochemischen Sauerstoffbedarfes[1]), die anfangs für den gereinigten Abfluß einschließlich der Schwebestoffe und nach zweistündiger Absetzzeit, später jedoch nur mehr für das abgesetzte Abwasser durchgeführt und der Beschickungskrumme gegenübergestellt wurde. Aus dieser Darstellung ist in überzeugender Weise die Auswirkung der gewählten Beschickungsart zu erkennen.

[1]) Die chemische Untersuchung erfolgte im 2. und 3. Versuchsabschnitt immer zur gleichen Stunde, um von der stets schwankenden Konsentration des Abwassers möglichst unabhängig zu sein. Gewählt wurde die Zeit von 13—14 h, da um diese Zeit erfahrungsgemäß die größte Verschmutzung auftritt (Abb. 17).

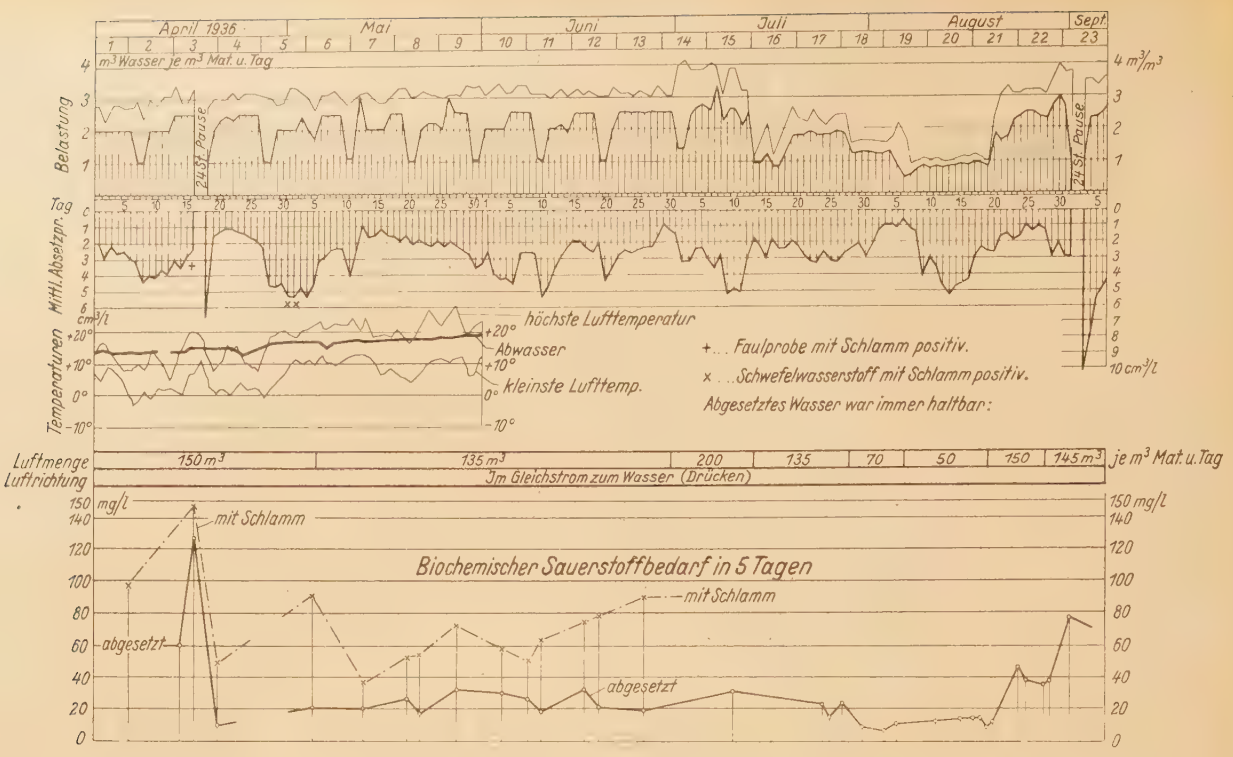


Abb. 9a. Versuchsergebnisse des 3. Versuchsabschnittes.

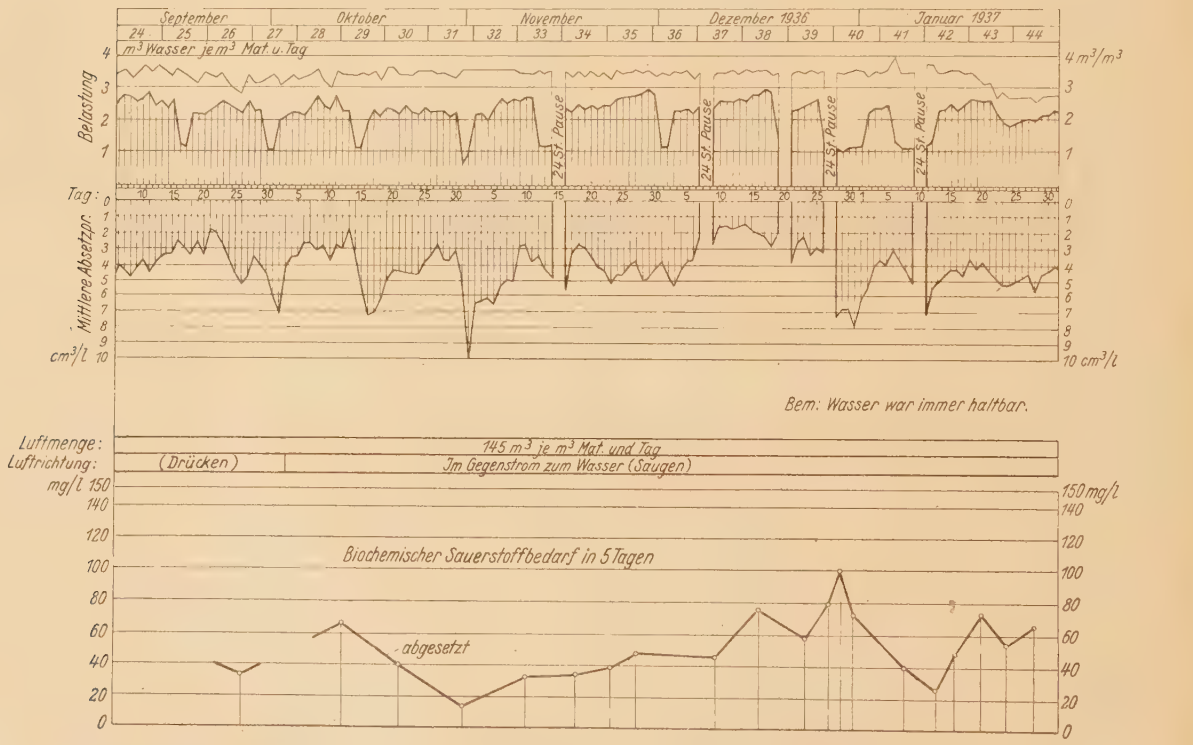


Abb. 9b. Versuchsergebnisse des 3. Versuchsabschnittes.

## IV. Ergebnisse des Versuches.

### 1. Temperaturverhältnisse.

Die Temperatur spielt bei der Bekämpfung der Verschlammung des Tropfkörpers eine ausschlaggebende Rolle. Für die Reinigungskraft des Tropfkörpers selbst dürfte sie kaum von Einfluß sein, da selbst bei stärkster Winterkälte und der tiefsten Abwassertemperatur von etwa 10° der Reinigungserfolg bei hoher Belastung genau so gut war wie im Sommer, solange der Körper schlammfrei war. In dieser Beziehung werden die von anderer Seite (2) gefundenen Ergebnisse bestätigt.

Zum Unterschied von offenen Tropfkörperanlagen schwankt bei der geschlossenen Form die Abwassertemperatur nur unerheblich. In Abb. 8a und b wurde unter der Darstellung der täglichen Absetzproben der Temperaturverlauf festgehalten und zwar die Abwassertemperatur und die höchste und tiefste Lufttemperatur des Tages. Die Ab-

wassertemperatur wurde täglich nur einmal um $14^h$ gemessen, da diese Stunde in die Hauptbeanspruchungszeit der Kläranlage fällt. Das Abwasser erreicht demnach im Hochsommer den Höchstwert von etwa 19° und sinkt in den Frostzeiten auf 10° herab. Tiefere Temperaturen treten nur bei Schneeschmelze und Winterregen auf und können diese dann in Ausnahmefällen bis auf 6° herabsinken. Der Ablauf des Tropfkörpers hat in der Regel höhere Temperatur als der Zulauf, da infolge Verhinderung der Wärmeausstrahlung die Oxydationswärme des Körpers fast restlos dem Abwasser mitgeteilt wird. Diese Temperaturerhöhung beträgt im Sommer durchschnittlich 1 bis 2° und ist unabhängig von der Temperatur der Außenluft.

Wie schon eingangs erwähnt wurde, war am Tropfkörper eine Heizvorrichtung vorgesehen, damit die angesaugte kalte Luft im Winter vorgewärmt werden konnte. Es war daher zunächst zu prüfen, ob die Vorwärmung der Luft, die die Betriebskosten naturgemäß erhöhen mußte, auch tatsächlich erforderlich war, bzw. ob der Erfolg den Kosteneinsatz lohnte. Diese Frage konnte bereits im 1. Versuchsabschnitt geklärt werden.

Gemessen wurde:

1. Die Abwassertemperatur des Zuflusses an der Tropfkörperpumpe (Wassereingang).
2. Die Abwassertemperatur des Abflusses im Ablaufschacht des Tropfkörpers (Wasserausgang).
3. Die Temperatur der Außenluft (Lufteingang).
4. Die Temperatur der Luft hinter dem Heizofen (vorgewärmte Luft) und schließlich
5. die Temperatur der Luft in den oberen Schichten des Schlackenkörpers (Luftausgang).

Die Messungen erfolgten fast täglich und zwar einmal im Laufe des Tages. Sämtliche Messungen wurden im Zeitraum von 10 min in der angeführten Reihenfolge vorgenommen. Das Ergebnis der Messungen in zwei aufeinanderfolgenden Frostzeiten, einmal mit und das anderemal ohne Luftvorwärmung, gibt die Zahlentafel 2 wieder.

Daraus ergibt sich klar und deutlich, daß jede Vorwärmung der Luft zwecklos ist. Die Temperaturen im Tropfkörper werden ausschließlich durch das Abwasser und die freiwerdende Oxydationswärme bestimmt.

Dieses Ergebnis kann theoretisch nicht weiter überraschen. Da der Tropfkörper gegen die Außenluft abgeschlossen ist, kann ein Wärmeaustausch im wesentlichen nur zwischen dem in der Zeiteinheit im Tropfkörper befindlichen Abwasser und der gleichzeitig durchgesaugten Luftmenge stattfinden. Da das Verhältnis zwischen Abwasser und Luft während der Versuchszeit etwa 1 : 35 betrug, würde bei Abkühlung von 1 $m^3$ Abwasser um 1° die stattliche Menge von rd. 1000 WE frei, die bei der geringen spezifischen Wärme der Luft von nur 0,284 WE/$m^3$ imstande wären, 35 $m^3$ Luft um etwa 100° zu erwärmen. Bei einer Außentemperatur von — 15° und einer Wassertemperatur von 10° wäre also eine Wasserabkühlung von höchstens $^1/_{10}$° denkbar, die jedoch von der Oxydationswärme des Körpers vollkommen überdeckt wird. Um den Einfluß der Oxydationswärme auf die Temperaturverhältnisse des Tropfkörpers während der Ruhepausen kennenzulernen, wurden im zweiten Versuchsabschnitt abermals Temperaturmessungen vorgenommen, die in Abb. 10 festgehalten wurden. Die Luft wurde diesmal von oben nach unten durchgedrückt. Gemessen wurde im Zeitabstand von 2 h

1. Temperatur der Außenluft,
2. Temperatur der aus dem Tropfkörper unten austretenden Luft,
3. Temperatur des Abwasserzulaufes und
4. Temperatur des Abwasserablaufes.

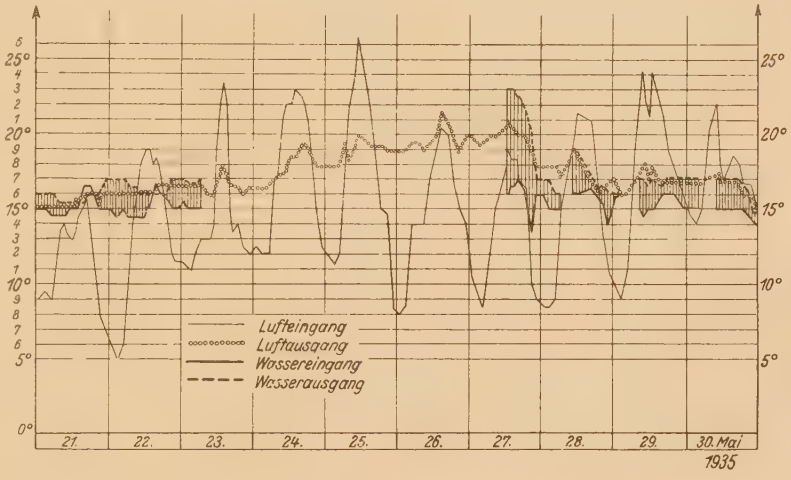


Abb. 10. Luft- und Wassertemperatur im Tropfkörper.

Zahlentafel 2. **Temperaturen in °C.**

| Luft-eingang | Vorgew. Luft | Luft-ausgang | Wasser-eingang | Wasser-ausgang | Bemerkung |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | + 35 | + 10 | 10 | 11 | |
| + 2 | + 35 | + 10,5 | 11 | 11,5 | |
| + 1 | + 35 | + 11 | 10 | 12 | |
| — 5 | + 35 | + 10 | 10 | 11 | |
| — 4 | + 33 | + 11,5 | 11 | 12 | |
| — 5 | + 30 | + 11 | 11 | 11 | |
| — 7 | + 33 | + 11 | 11 | 11,5 | |
| — 2 | + 30 | + 10,5 | 10 | 12 | |
| — 2 | — 35 | + 10 | 10 | 11 | |
| 0 | + 35 | + 10,5 | 10 | 12 | |
| + 3 | + 35 | + 9 | 8 | 11 | Schnee-schmelze |
| + 1 | + 33 | + 9 | 9 | 11 | |
| + 5 | — | + 9 | 8,5 | 9 | Schnee-schmelze |
| + 5 | — | + 8 | 6 | 8 | |
| — 5 | — | + 9 | 9 | 10 | |
| — 8 | — | + 10,5 | 10 | 10 | |
| — 7,5 | — | + 10 | 10 | 10,5 | |
| — 9 | — | + 11,5 | 11 | 11,5 | |
| — 8 | — | + 11 | 10 | 12 | |
| — 6 | — | + 10,5 | 10 | 11 | |
| — 2 | — | + 11 | 10 | 11 | |
| 0 | — | + 10 | 9 | 10 | |
| + 2 | — | + 8,5 | 8 | 10 | |
| + 5 | — | + 9 | 8 | 9 | |

Die Abwassertemperatur hat im allgemeinen einen Höchstwert in den Nachmittagsstunden, während die tiefste Temperatur in den Morgenstunden oder vor Mitternacht auftritt. Jedenfalls ist die Schwankung im Laufe des Tages gering und beträgt nur 2 bis 3°. Die Temperatur des Ablaufes folgt in einem gewissen Zeitabstand der des Zulaufes, doch sind die Schwankungen geringer und betragen nur etwa 0,5 bis 1,5°.

Sehr aufschlußreich ist jedoch der Einfluß der viertägigen Ruhepause auf die Erhöhung der Temperatur des Abwassers im Tropfkörper. Zu Beginn der Beschickung am 27. Mai ist eine Erwärmung des Abwassers um 7° zu erkennen, die erst nach etwa 10 h auf das übliche Maß herabsinkt. Die Abwassertemperatur wurde auf diese Weise bis auf das ungewöhnliche Maß von 23° hochgetrieben, und man kann diese Erscheinung sehr wohl mit der Löschung eines Brandes vergleichen und einen guten Einblick in die während der Ruhepause besonders lebhaften Oxydationsvorgänge gewinnen, die vor allem durch die stete künstliche Sauerstoffzufuhr begünstigt werden. Die Abbauvorgänge nehmen während der Beschickungsunterbrechung selbstverständlich ihren Fortgang und das Schwinden der Schlammablagerungen in den Pausen zeugt schließlich deutlich genug für die starke Auswirkung dieser biochemischen Umsetzungen. Da aber das Abwasser zur Ableitung der Abbauprodukte fehlt, können solche in der Ruhezeit nur in gasförmi-

gem Zustande entweichen. Das beobachtete Auftreten von Ammoniak am Ende dieser Ruhepause und der vorherrschend dumpfe, modrige Geruch der Abluft bestätigt auch das Anhalten des aeroben Körperzustandes. Die festen Rückstände dieser Zersetzung erscheinen dann bei Wiederbeschickung als Spitze in den Absetzproben des Ablaufes, solange der Durchgang dieser Stoffe nicht durch sperrende Schlammschichten verhindert wird oder überhaupt schlammfreier Zustand besteht. Solche Spitzen in den Absetzproben sind fast nach jeder größeren Ruhepause erkennbar und wurden immer wieder beobachtet (Abb. 3, 8 und 9). Auch nach kürzeren Pausen erscheinen diese Spitzen, klingen aber sehr rasch ab und werden nach 2 h meist nicht mehr erfaßt.

Von besonderem Interesse ist noch der Verlauf der Ablufttemperatur während der Ruhezeit vom 23. bis 27. Mai. Man erkennt deutlich, daß sich hier der Einfluß der Außenluft wohl geltend macht, der vorhandene biologische Rasen im Körper jedoch, über den die Luft in mäßiger Geschwindigkeit hinwegstreicht, starke Temperaturschwankungen verhindert. Der stete Anstieg der Körpertemperatur ist jedoch unverkennbar und weist auf die allmähliche Erwärmung des biologischen Rasens hin. Eine gleiche Temperaturerhöhung des Abwassers prägt sich auch in den nachfolgenden kurzen Pausen am 28., 29. und 30. Mai aus, doch tritt diese naturgemäß weniger deutlich in Erscheinung.

Von großer Bedeutung war es jedoch, die Temperaturveränderungen während der Ruhepausen im Winter kennenzulernen. Wenn die kalte Winterluft in den Kuppelraum über dem Schlackenkörper eingedrückt wird, so tritt zunächst durch die Wärmeausstrahlung des Tropfkörpers und Abwassers in diesem Raume eine Vorwärmung der Luft ein. Diese Vorwärmung kann eintreten, da die Luftgeschwindigkeit verhältnismäßig gering ist und auch bei stärkster Belüftung die Durchtrittsgeschwindigkeit nur etwa 1 cm/s beträgt. Diese vorgewärmte Luft trifft dann auf die Schlackenoberfläche, füllt die großen Zwischenräume aus und erwärmt sich langsam an dem biologischen Rasen oder während der Beschickung an dem Abwasser, um allmählich die Körpertemperatur anzunehmen. Tritt die Luft jedoch von unten in den Körper ein, dann muß sie den Körper vollständig durchströmen, bis sie in die Verschlammungszone gelangt und hat dort bereits Körpertemperatur.

Die Ergebnisse der vorgenommenen Messungen zeigen die nachstehenden Zahlentafeln.

Zahlentafel 3.

**Temperaturen am Ende der Ruhepause bei Luftsaugen in °C.**

(Luftstrom von unten nach oben.)

| Zeile | Dauer der Ruhepause | Außenluft | Körperluft | Kuppelraum | Bemerkung |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 h | — 2 | + 11 bis 12 | + 8 | |
| 2 | 1½ » | — 3 | + 11 | + 8 | |
| 3 | 2½ » | — 5 | + 10 | + 7 | |
| 4 | 3 » | — 13 | + 8 bis 9 | + 8 | |
| 5 | 3½ » | + 1 | + 11 | + 8 | |
| 6 | 3½ » | + 2 | + 12 | + 9 | |
| 7 | 5 » | + 5,5 | + 11 bis 13,5 | + 10,5 | |
| 8 | 8 » | — 18 | + 12 | + 5 | |
| 9 | 9 » | — 8 | + 12,5 | + 6,5 | Schlamm- |
| 10 | 10 » | — 5 | + 11 bis 14 | + 9 | temp. + 16 |
| 11 | 11 » | — 12 | + 13,5 | + 7 | |
| 12 | 11 » | — 5 | + 14,5 | + 8 | |
| 13 | 13 » | — 5 | + 17 | + 12 | |
| 14 | 15 » | — 1,5 | + 14 bis 16,5 | + 12 | |
| 15 | 17 » | + 1 | + 14 | + 11,5 | |
| 16 | 17 » | + 8 | + 17 | + 15,5 | |
| 17 | 17 » | + 8 | + 20 | + 17 | |

Um den Einfluß der Dauer der Ruhepausen deutlicher werden zu lassen, wurden die Messungen nach steigender Dauer der Pause geordnet. Die Wassertemperaturen lagen in dieser Zeit allgemein zwischen 10° und 12° C. Man sieht also, daß bei tiefer Außentemperatur und kurzer Pause (Zeile 4) der Einfluß der Außenluft leicht in Erscheinung treten und die Temperatur der Körperluft etwas unter die übliche Abwassertemperatur absinken kann. Sonst liegen die Temperaturen der Körperluft im allgemeinen mit steigender Pausendauer ansteigend, zum Teil wesentlich über der Abwassertemperatur und erreichen bei mehr als 12 h Ruhezeit bereits sommerliche Werte (Zeile 13 und 14) und steigen bei Langpausen sogar noch darüber (Zeile 17), besonders dann, wenn mildere Wintertemperaturen herrschen.

Anders gestalten sich diese Verhältnisse bei Umkehrung des Luftstromes.

Zahlentafel 4.

**Temperaturen am Ende der Ruhepause bei Luftdrücken in °C.**

(Luftstrom von oben nach unten.)

| Zeile | Dauer der Ruhepause | Außenluft | Körperluft | Kuppelraum |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 3½ h | — 1 | + 10,5 | + 7,5 |
| 2 | 4½ » | + 1 | + 11,5 | + 7 |
| 3 | 5 » | + 2 | + 8 bis 9 | + 7 |
| 4 | 7½ » | 0 | + 9,5 | + 7 |
| 5 | 7½ » | 0 | + 12 | + 8 |
| 6 | 7½ » | — 3 | + 9,5 | + 7 |
| 7 | 7½ » | — 4 | + 10 | + 6,5 |
| 8 | 14 » | 0 | + 8 bis 9 | + 6 |
| 9 | 14 » | + 3 | + 10,5 bis 12 | + 10 |
| 10 | 17 » | ± 3 | + 10 bis 11 | + 9 |

Man erkennt auf den ersten Blick, daß es auf diese Weise nicht möglich ist, die Lufttemperaturen in der Verschlammungszone zu erhöhen, da an manchen Tagen nicht einmal die übliche Abwassertemperatur gemessen wurde. Auch im Kuppelraume sind die Temperaturen im allgemeinen niedriger als in der Zahlentafel 3.

Das Ergebnis der Temperaturbeobachtungen kann wie folgt zusammengefaßt werden:

Die Vorwärmung der Luft ist auf die Temperaturverhältnisse im Tropfkörper ohne Einfluß und daher entbehrlich. Die Oxydationswärme des Tropfkörpers bewirkt eine Temperaturerhöhung des Abwassers um 1 bis 2°. Durch Einschaltung von Ruhepausen kann die Temperatur im Tropfkörper wesentlich gesteigert werden. Wenn man im Winter in der Verschlammungszone eine Temperaturerhöhung in den Beschickungspausen erzielen will, ist es erforderlich, die Luft im Gegenstrom zum Wasser durch den Körper zu leiten. (Saugen.)

### 2. Biologische Beobachtungen.

#### a) Psychoda.

Die Schmetterlingsmücke Psychoda spielt bei der Bekämpfung der Verschlammung eine vorherrschende, wenn nicht ausschlaggebende Rolle. Schon im ersten Versuchsabschnitt konnte in der warmen Jahreszeit zeitweise das gehäufte Auftreten dieser Mücken und ihrer Larven festgestellt werden und auch der stark wechselnde Verlauf der Absetzproben (Abb. 3) deutete auf besondere schlammlösende, biologische Kräfte im Tropfkörper hin. Das Massenauftreten der Psychoda während der einmonatigen Ruhepause des Tropfkörpers im April 1935 wurde bereits geschildert. Als daher in der zweiten Betriebswoche des zweiten Versuchsabschnittes (Abb. 8a) mit der Einlegung von Lüftungspausen begonnen wurde, konnte auch deren Auswirkung auf die Lebenstätigkeit der Psychoda gut beobachtet werden. Die nur 40 cm starke Schlackenzone von 16 bis 20 cm Korngröße mit der darunterliegenden Kleinschlacke beschränkte die Verschlammungszone damals vorwiegend auf diese oberste Schicht des Tropfkörpers und gestattete einwandfreie Beobachtungen.

Während einer mehrtägigen Ruhepause vermehren sich vor allem die Mücken in Massen und bedecken die Schlacke gleichsam mit einer lebenden Haut (Abb. 5). Bei einsetzender Beschickung bildet sich an den unmittelbar berieselten

Flächen der Schlacke allmählich ein Überzug von gelblich- bis grünlichgrauen Pilzrasen, der fest an der Schlacke haftet und nur abgeschabt werden kann. Die Mücken verschwinden allmählich, gehen teils zugrunde, teils werden sie in die wassergeschützten Hohlräume gedrängt. Bei andauernder Beschickung wird die Pilzhaut immer stärker und wuchert an der Seite der Schlacke herab (Abb. 6). Werden keine Lüftungspausen eingeschaltet, dann nimmt der Rasen häutige Beschaffenheit an, wird immer mächtiger und breitet sich vor allem nach unten aus. Mitunter kann der Schlamm dann in Fladen von der Schlacke abgezogen werden (Abb. 7). Hält dieser Verschlammungszustand an, dann wird die Psychoda, Larve und Puppe, weiter in den Körper gedrängt und darin eingeschlossen. Dieser Zustand herrschte im ersten Versuchsabschnitt vor, konnte aber auch weiterhin zeitweise gut beobachtet werden.

Durch die Einschaltung der Lüftungszeiten werden die Lebensbedingungen für die Psychoda wesentlich verbessert. Die Mücke, die nach Befruchtung und Eiablage bald zugrunde geht, lebt nur wenige Tage. Unter günstigen Lebensbedingungen schlüpfen schon nach einigen Tagen die mit unbewaffnetem Auge kaum sichtbaren Larven aus und verschwinden sofort in dem reichlich vorhandenen Nährboden, doch kann man mit dem Vergrößerungsglas die sich leicht bewegenden und aus dem Schlamm herausragenden Luftröhrenschläuche der Larven gut wahrnehmen (3). Damit

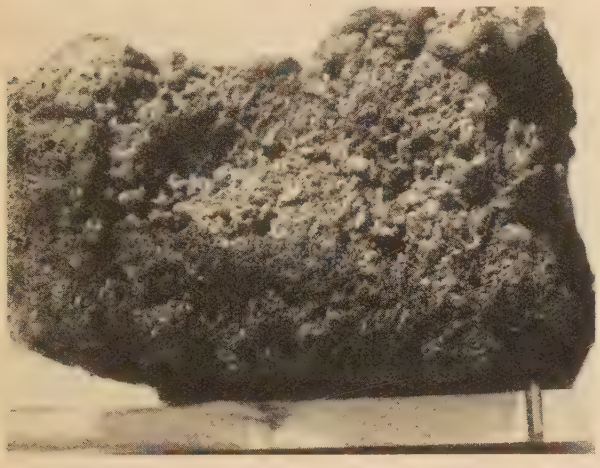

Abb. 11. Von Psychodalarven überfallenes Schlackenstück. Obere Hälfte mit gelbgrauen Pilzrasen überzogen. Untere Hälfte kahl gefressen und mit schwärzlichen, abgebauten Schlamm und Larven bedeckt. An der Übergangszone ein wulstiger Ring von Larven.

beginnt aber bereits die schlammabbauende Wirkung, da die Freßlust dieser Larven ganz ungeheuer ist. Infolge der reichlich vorhandenen Nahrung wachsen sie auch rasch heran und werden bald für das freie Auge sichtbar. Gleichzeitig treibt der unten abnehmende Schlamm die Larven auf Nahrungssuche nach oben, sobald die eingestellte Berieselung dies gestattet.

Die Larven der Psychoda sind im wahrsten Sinne des Wortes Allesfresser. Jede organische Substanz, sowohl der frische Pilzrasen, als auch halb verwester, stark fauliger Schlamm ist ihnen als Nahrung gleich willkommen. Zunächst sind sie in dem tiefer gelegenen Faulschlamm zu finden, den sie gewebeartig durchsetzen, so daß der lose Schlamm durch die Larven rasenartig zusammengehalten wird, bis er restlos abgebaut ist. Erst Nahrungsmangel scheint dann die Larven aus den wassergeschützteren Tiefen an die vom Wasser unmittelbar bespülte Oberfläche zu treiben, da immer dort, wo Larven an der Oberfläche erschienen, darunter Schlammansammlungen fehlten.

Während der Beschickung befinden sich die Larven an der Unterseite und auf den vom Wasser geschützteren Seitenflächen der obersten Schlackenschicht. Wird jedoch rechtzeitig eine Beschickungspause eingeschaltet, dann beginnen die Larven mit unheimlicher Freßgier den während der Beschickung oben angewachsenen Pilzrasen zu verzehren. Ringförmig von unten nach oben wandernd, bilden sie an der Grenze zwischen der mit Rasen bedeckten und der bereits kahlgefressenen Schlackenzone, scheinbar sich gegenseitig die Nahrung streitig machend, einen bis fingerdicken Wulst (Abb. 11 und 12), um innerhalb weniger Stunden ein schlammüberzogenes Schlackenstück von etwa 15 cm Dmr. in ein fast vollkommen blankes, nur mehr mit Larven bedecktes Stück Schlacke zu verwandeln. Nur ganz große Schlackenstücke behalten dann noch eine kleine, mit einem Larvenring umsäumte Pilzrasenkuppe, die auch verschwindet, wenn die Pause länger andauert. Mit einsetzender Berieselung werden die Larven wieder abgeschwemmt, der Rasen bildet sich neu und das Spiel beginnt in der nächsten Pause von vorne (Abb. 13).

Dieser Zustand dauert 8 bis 10 Tage an, wobei die Schlacke gründlich gereinigt und vollständig entschlammt wird. Die Larven wachsen indessen zur vollen Größe heran

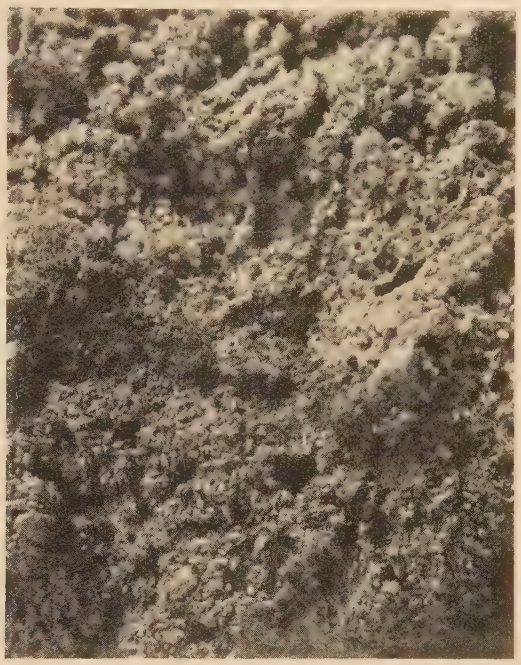

Abb. 12. Ausschnitt aus einem von Larven befallenen Schlackenstück. Obere Hälfte unbelebt und verschlammt. Untere Hälfte schlammfrei und mit Larven überzogen. Diagonal von links oben nach rechts unten ist deutlich die Larvenhäufung zu erkennen.

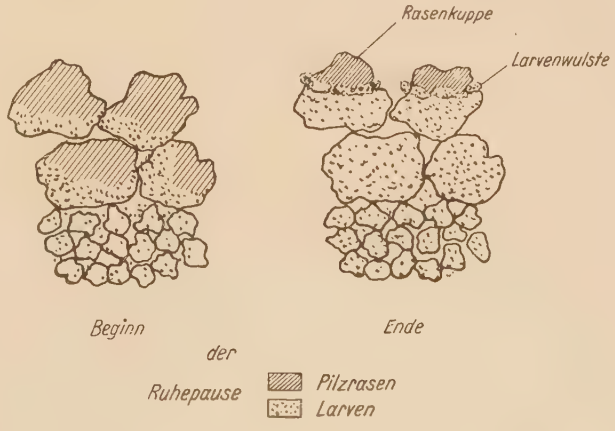


Abb. 13. Larvenwanderung während der Ruhepause.

(Abb. 14), verfärben sich schwach gelblich und werden träge. Dies äußert sich vor allem darin, daß sie in den Pausen zunächst in geringerer Menge und dann überhaupt nicht mehr an der Oberfläche erscheinen.

Dafür setzen sich an wassergeschützten Stellen oft dicke, moosartige Beläge von Puppen an (Abb. 15), während gleichzeitig die Mücken wieder allmählich in Erscheinung treten. Puppen sind vorwiegend an der Schlackenunterseite, in geschützten Ausbuchtungen der großen Schlackenstücke und vor allem an den Stellen zu finden, die durch die oberste Schlackenlage direkt abgedeckt und daher gegen den Wasserstrahl abgeschirmt sind. Wo Schlamm vorhanden ist, findet man sie auch unter der sie in ähnlicher Weise schützenden Schlammdecke. Während der Puppen- und Mückenzeit beginnen sich aber die Pilzdecken auszubreiten und der Schlamm sammelt sich wieder langsam an. Diese Verschlammung ist jedoch unbedenklich, da die Larvenzeit bald wieder einsetzt.

Recht deutlich konnte häufig gleichlaufend zu diesen Lebenserscheinungen der Psychoda eine entsprechende Veränderung der Absetzkrumme festgestellt werden. Während der Mückenzeit sind die Absätze gering. Gewöhnlich kurz vor dem ersten Erscheinen der Larven an der Oberfläche schwellen die Absätze plötzlich an, um je nach dem Verschlammungszustand der Schlacke kürzere oder längere Zeit hoch zu bleiben. In Abb. 8a wurde diese Beziehung zwischen Psychoda, Schlammzustand und Absetzproben für die Monate Mai bis August festgehalten. Ergänzend sei noch bemerkt, daß in den starken Absätzen des Ablaufes die leere Puppenhülle der Psychoda sehr zahlreich vertreten war, in dieser Weise abermals die Herkunft des ausgeschwemmten Schlammes bestätigend. Durch die Veränderung des Schlackenbelages Ende August 1935 nach Körnung III der Abb. 2 wurde die Verschlammungszone auf das doppelte Maß vergrößert und es war klar, daß durch die größere Oberfläche dieser Zone auch die Larvenhäufigkeit

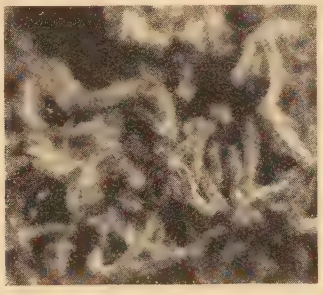

Abb. 14.
Psychodalarven (zweifach vergrößert).

nicht mehr so in Erscheinung treten konnte wie bisher. Auch dieser Umstand konnte nur als Vorteil gebucht werden, denn gerade dadurch waren örtliche Schlammanhäufungen nicht mehr in diesem Maße zu befürchten.

Ende Oktober erschienen die Larven nicht mehr an der Oberfläche des Tropfkörpers, was vor allem auf die absinkenden Temperaturen und die dadurch verlangsamte Entwicklung der Psychoda zurückgeführt wird. Aber auch im Körper wechselten weiter regelmäßig Larven- und Mückenperioden miteinander ab, die Verschlammung nahm jedoch allmählich zu. Als Ende November in tieferen Zonen bereits Schlammbänke angetroffen wurden und die dadurch gestörte Wasserverteilung den Reinigungsgrad herabsetzte, wurde beschlossen, durch Massenentwicklung der Psychoda den Tropfkörper zu entschlammen. Durch allmähliche Verlängerung der Ruhepausen von der 32. bis zur 35. Betriebswoche (Abb. 8b) gelang dieser Versuch restlos. Die Temperaturen im Körper erreichten am Ende der Ruhepause sommerliche Werte, so daß die Psychoda zu neuem Leben erwachte. Im Kuppelraum begannen am 31. Dezember, wie im Sommer, die Mücken herumzuschwärmen, sämtliche Hohlräume der Schlacke waren mit Mücken ausgefüllt und jedes einzelne Korn mit Mücken überzogen, wie dies in solchen Mengen selbst nicht in der warmen Jahreszeit beobachtet werden konnte. Sämtliche in Massen vorhandenen Puppen waren durch die hohen Temperaturen plötzlich zu Mücken geworden. Gleichzeitig verbesserte sich seit der 34. Betriebswoche der Reinigungsgrad derart, daß die spezifische Belastung auf 3 : 1 gesteigert werden konnte. In der 36. Betriebswoche deutet der kräftige Schlammabstoß auf die Tätigkeit der Junglarven im Tropfkörper hin, die wenige Tage später, wie im Sommer, den Pilzüberzug der Deckschicht abzufressen begannen und zwar so gründlich, daß er in der kurzen Beschickungszeit sich gar nicht mehr neu bilden konnte.

Diese Art der Entschlammung des Tropfkörpers im Winter mit Hilfe der Psychoda war jedoch mit einem empfindlichen Leistungsabfall verbunden, kann daher nur ausnahmsweise angewandt werden, sobald andere Maßnahmen nicht zum Ziele führen. Erwähnt sei noch, daß alle diese Erfahrungen im dritten Versuchsabschnitt ihre Bestätigung fanden und zielbewußt verwertet wurden. Grundlegend für die Entwicklung der Psychoda sind die Temperaturverhältnisse, weshalb in den Wintermonaten der Luftstrom durch den Tropfkörper von unten nach oben (Saugen) geleitet wurde.

Im Schrifttum wird die Psychoda in den weitaus meisten Fällen nur unter dem Gesichtspunkt ihrer Bekämpfung behandelt (3, 4 und 5). Vielleicht verdanken manche Tropfkörperanlagen ihr Dasein und ihren dauernd günstigen Reini-

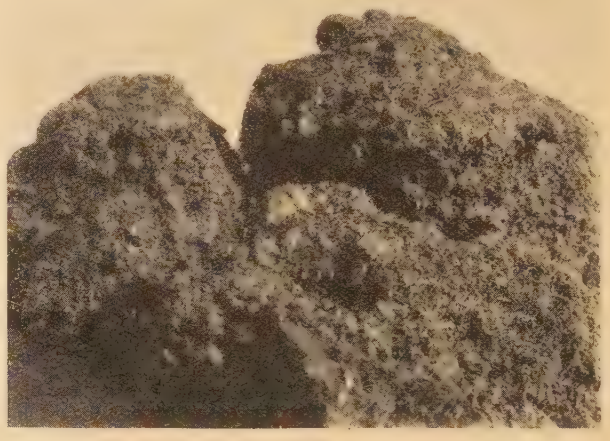

Abb. 15. Moosartige Beläge von ausgewachsenen Larven und Puppen der Psychoda.

gungserfolg nur dem Umstande, daß bis heute noch kein einfach anzuwendendes und dauernd wirkendes Mittel zur Bekämpfung der Psychoda gefunden wurde (3). Die Biologie der Tropfkörperfliege wird von Gordon M. Fair und Dr. M. Zuelzer sehr eingehend (von letzterer besonders die Morphologie) behandelt, so daß hier nur darauf hingewiesen wird. Es werden nachstehend nur solche Beobachtungen angeführt, die für die Schlammbekämpfung besondere Bedeutung haben und in diesem Sinne die Darstellungen der genannten Verfasser bestätigen oder davon abweichen.

Die Lebensdauer der Psychoda, d. h. die Entwicklungszeit vom Ei bis zum fertigen Insekt, kann recht gut aus den in der Abb. 8a aufgezeichneten Erscheinungsformen abgeschätzt werden. Sie beträgt bei einer Abwassertemperatur von 15 bis 17° (diese Temperatur nimmt während der Beschickung auch die Luft an) etwa 20 bis 25 Tage. Durch einen gleichlaufenden Versuch wurde bei 20 bis 25° Schlammtemperatur die Entwicklungszeit mit 12 bis 14 Tagen festgestellt. Diese Werte stimmen mit der von G. M. Fair genannten Zeitdauer recht gut überein. Im einschlägigen Schrifttum wird wohl betont, daß die Larve sehr gefräßig ist und keine Nahrung verschmäht. Sie ist im halb verfaulten Schlamm zu finden und meidet auch keineswegs den frischen Abwasserpilz an der Oberfläche. Wenn man nun ein solches Massenauftreten beobachtet und sieht, wie innerhalb von 8 bis 10 Tagen aus der dünnen, durchsich-

tigen Junglarve die fast 1 cm lange, dicke, sich langsam schwach gelblich färbende, ausgewachsene Larve entsteht, kann man wohl ermessen, wieviel organische Substanz hier in Form von Eiweiß aufgespeichert und in der gelblich bis bräunlich gefärbten Puppe in den chitinösen Körper des Insekts verwandelt wird. Die zugrunde gegangene Mücke wird dann durch das Abwasser abgeschwemmt.

Von der Tatsache der Gefräßigkeit der Larven und ihrem gehäuften Auftreten ausgehend, ist die Schlußfolgerung naheliegend, daß diese Lebewesen auch sehr viel Schlamm im Körper vernichten müssen. Schlamm bedeutet für sie Nahrung, daher muß das Massenauftreten der Psychoda immer auf Verschlammungszustände im Körper hindeuten. Man darf allerdings dabei nicht vergessen, daß bei Erscheinen der Mückenschwärme die Entschlammung in der Regel bereits erfolgt ist, da die Schlammbeseitigung durch die Larven besorgt wird.

Die Verteilung der Larven im Tropfkörper richtet sich ganz nach dem Schlammzustand und der Temperatur in den verschiedenen Körperzonen. Im Sommer ist die Verbreitung der Psychoda infolge der durch die günstigere Temperatur bedingten kürzeren Entwicklungszeit am größten. Dadurch sind aber übermäßige Rasenbeläge in den tieferen Zonen bald aufgezehrt und, da die Mücke stets nach oben drängt, solange sie nicht durch zu kalte Außentemperaturen abgeschreckt wird, findet man die Larve auch bald nur mehr in den oberen Zonen des Tropfkörpers. Dort allein ist noch infolge des polysaproben Charakters dieser Schlackenoberschicht, der für die Ernährung unbedingt notwendige Schlamm in Form von wuchernden Bakterienschleimen und Pilzen vorhanden. Daher findet man die Psychodalarve in der warmen Jahreszeit gewöhnlich gleich unter oder bei Nahrungsmangel, besonders in Ruhepausen, oft unmittelbar an der Oberfläche. Bei Beginn der kühleren Jahreszeit und Sinken der Außentemperatur zieht sich die Psychoda in den Tropfkörper zurück.

Die absinkenden Temperaturen haben aber auch eine Verlängerung der Entwicklungszeit zur Folge, wodurch die Psychoda auch mengenmäßig abnimmt. Die Entwicklung dürfte bei starker Abkühlung des Körpers wahrscheinlich ganz zum Stillstand kommen. Wird der Tropfkörper gegen zu starke Abkühlung durch Ummantelung geschützt, dann geht die Entwicklung, allerdings auch verlangsamt, weiter. Dadurch nimmt aber die Verschlammung überhand und wenn dies zur Ausbildung von teppichartigen Schlammdecken und Schlammbänken führt, wird die Psychoda immer mehr in den Körper gedrängt, in welchem sie bei kalter Außentemperatur auch ganz verbleibt, obwohl dies für das Mückenstadium nicht günstig sein kann. Die Folge ist weitere Einschränkung der Vermehrung und weiteres Vordringen des Schlammes in das Körperinnere. Inzwischen naht das Frühjahr mit seinen höheren Temperaturen, wodurch die Psychoda im Körper zu neuem Leben erwacht. Dies kündigt sich wohl meist zunächst durch höhere Absätze im Ablauf des Tropfkörpers an. Die Larven wachsen rasch heran und verteilen sich gleichmäßig über den ganzen Körper, da sie überall reichlich Nahrung vorfinden. Dieser Zustand war in der 3. Betriebswoche (Abb. 9a) im April 1936 vorhanden. Bei Abteufung eines Schachtes bis zur Sohle konnten die Larven in wechselnder Häufigkeit in allen Zonen des Körpers festgestellt werden und um so zahlreicher, je stärker der Rasenüberzug der Schlacke war. Diese günstigeren Lebensbedingungen verursachen in Kürze gehäuftes Auftreten der Mücken mit erneuter massenhafter Eiablage auf dem noch reichlich vorhandenen Schlamm, und bei Eintritt der warmen Jahreszeit schwärmen die Mücken aus, um zur Plage aller in der Nähe der Kläranlage befindlichen Menschen zu werden. Während des Sommers kann diese Plage allmählich etwas abnehmen, wenn durch die verminderte Verschlammung die Larve in den oberen Schlackenschichten nur mehr beschränkt Nahrung findet.

Auf eine Erscheinung ist noch hinzuweisen, die im ersten Versuchsabschnitt deutlich beobachtet werden konnte. Übermäßiges Anwachsen des Schlammes und Ausbreiten von Pilzdecken mit Pfützenbildung kann auch im Sommer, wie schon G. M. Fair (3) erwähnt, zur Einschränkung des Auftretens der Psychoda führen. Die Ursache liegt nach den hier gemachten Feststellungen in folgendem. In stärkeren Schlammschichten, die dauernd vom Abwasser berieselt werden, findet die Larve keine günstigen Lebensbedingungen, da sie infolge Luftmangel darin bald ersticken müßte. Bei Pfützenbildung konnte sogar vereinzelt eine Schwimmschicht von Larven festgestellt werden, indem diese jedenfalls durch die Unterwassersetzung aus dem Schlamm herausgetrieben wurden. Unter solchen Pilzdecken befindet sich in der Regel auch Schlamm, der wegen des Luftabschlusses bald der anaeroben Gärung anheimfällt. In diesen Schlammzonen ist die Larve wegen Luftmangel auch nicht zu finden. Unter solchen Voraussetzungen wird die Psychoda dann selbst im Sommer im Tropfkörper eingeschlossen bleiben und kann sich daher, wie im Winter nur mäßig ausbreiten und vermehren. Und das scheint mit die Ursache zu sein, daß sich die Verschlammung in solchen Tropfkörpern immer mehr ausbreitet, wodurch diese allmählich zum Erliegen gebracht werden. Durch Einschaltung von Ruhepausen kommt die Larve hoch und ist imstande, in wenigen Stunden erhebliche Mengen solchen Schlammes zu verzehren. Die Schlammreste verlieren dadurch ihre Sperrfähigkeit und können bei Wiederbeschickung leicht zur Abschwemmung gelangen.

Darin liegt nun vor allem der Wert der täglich eingeschalteten Ruhepausen, da auf diese Weise den Larven die Möglichkeit geboten wird, auch über Schlammpartien herzufallen, die während der Berieselung wegen Mangel an Sauerstoff gemieden werden bzw. an denen der Wasserstrahl die Ansiedlung verhindert. Voraussetzung ist und bleibt aber genügend hohe Temperatur, da sonst die tieferen, wärmeren Schichten vorgezogen werden.

Der zweite und dritte Versuchsabschnitt (Abb. 8 und 9a) gibt recht deutlich die für die Entwicklung der Psychoda günstigsten Temperaturen an. Andauernde Verschlammung bestand von Ende Oktober 1935 bis Mitte April 1936, wenn von der künstlichen Entschlammung im Januar abgesehen wird. Die Abwassertemperaturen liegen in diesem Zeitabschnitt unter 15° und die höchste Tagestemperatur unter 20° bzw. die mittlere Tagestemperatur ebenfalls unter 15°. In den Übergangszeiten ist die Larventätigkeit natürlich lebhafter als im Winter, jedoch wurde das letzte Überwiegen der Larven gegenüber dem Schlamm in der 22. Betriebswoche (Abb. 8a) und das erste neue Massenauftreten Anfang Mai, in der 6. Betriebswoche (Abb. 9a) festgestellt, d. h. zu diesen Zeiten kamen die Larven, unter sonst normalen Verhältnissen, wegen Futtermangel in den tieferen Zonen nach der Körperoberfläche, um den letzten Pilzrasen abzufressen. Zu gleicher Zeit überstieg auch die höchste Tagestemperatur der Luft die 20°-Linie.

Bei offenen Tropfkörpern spielen sich diese Vorgänge wohl ganz ähnlich ab, nur ist hier der Einfluß der Außentemperatur erheblich stärker als bei geschlossenen Körpern. Die jahreszeitlich bedingten Veränderungen hat G. M. Fair (3) kurz zusammengestellt und vermerkt unter anderem das erste gehäufte Auftreten der Psychoda kurz vor der im Frühjahr vor sich gehenden, selbsttätigen Loslösung der überwinterten Schmutzstoffe der Filterkörper. Da dem gehäuften Auftreten der Mücken eine Larveninvasion folgen muß, mag die Psychoda an dieser jahreszeitlich beobachteten Ausschwemmung keinen unwesentlichen Anteil haben. Auch das Verschwinden der Mücken nach ihrem ersten Massenauftreten ist wohl selbstverständlich, da erst nach 2 bis 3 Wochen aus den Larven neue Mücken werden. Das weitere Massenauftreten im Sommer wäre dann eine reine Futterfrage, und man könnte auf diese Weise folgenden Schluß ziehen: Starke Mückenplage im Sommer deutet auf Schlammreichtum des Tropfkörpers, geringe Mückenplage entweder auf Schlammarmut oder unter Umständen auch auf vollständige Verstopfung des Tropfkörpers hin. Wie weit dies allgemein zutrifft, könnte nur durch planmäßige Beobachtung vieler Anlagen geklärt werden.

b) Wasserspringschwanz (Achorutes viaticus).

Der Wasserspringschwanz (3) ist an seiner blauschwarzen Farbe und dem in der Regel örtlich gehäuften Auftreten leicht zu erkennen. Auch seine sprungartige Fortbewegung verrät ihn meist deutlich. Der Wasserspringschwanz wurde im Tropfkörper in stark wechselnder Häufigkeit, aber nie in großen Massen angetroffen. Eine Verseuchung nach Art der Psychoda trat niemals in Erscheinung. Sein erstes Auftreten konnte zu Beginn des ersten Versuchsabschnittes beobachtet werden, doch verschwand er bald wieder, und die Psychoda beherrschte bei zunehmender Verschlammung das Bild. Im zweiten Versuchsabschnitt wurde dem Wasserspringschwanz größere Aufmerksamkeit geschenkt, da er in tieferen Schichten vereinzelt immer wieder zu finden war. Entweder konnten in allerdings meist vollkommen schlammfreien Hohlräumen der Schlacke ganze Nester mit jungen und alten Artgenossen und vielen abgeworfenen Häuten gefunden werden oder sie traten örtlich weniger gehäuft auf und waren über die schlammfreie Schlacke gleichmäßig verteilt. Nie wurden sie jedoch im Schlamm und nur selten unmittelbar auf diesem gefunden. Nach der Änderung des Tropfkörperbelages im August/September 1935 konnte eine aufschlußreiche Beobachtung gemacht werden. Am 18. September begannen sich die Springschwänze auf dem neu eingebrachten Schlackenbelag, der noch frei von jedem Schlamm- und Pilzrasen war, in ungeheuren Mengen auszubreiten, während die Psychodalarve vollkommen fehlte. Mit beginnender Verschlammung wurden sie jedoch langsam verdrängt und verschwanden allmählich ganz, bis sie schließlich am 26. September in dieser Zone überhaupt nicht mehr gefunden werden konnten. An Stelle der Springschwänze traten jedoch die Mücken und vereinzelt die Larven der Psychoda auf, während die Einschlammung fast restlos erfolgt war. Wenige Tage später beherrschte die Psychoda das Feld vollkommen, während merkwürdigerweise im Ablauf des Tropfkörpers auf der Wasserfläche tanzend, der Springschwanz in noch nie beobachteten Mengen zu sehen war. Daraufhin wurde durch Monate hindurch immer wieder nach dem Wasserspringschwanz geforscht und konnten regelmäßig folgende Feststellungen gemacht werden:

In der Verschlammungszone war der Wasserspringschwanz nie mehr zu finden. Sobald aber, besonders durch die Ausbildung von Schlammbänken, die Verschlammungszone sprungartig aufhörte und die Schlacke vollkommen schlammfrei war, konnte auch in den meisten Fällen der Springschwanz angetroffen werden, allerdings immer nur vereinzelt und auf der Schlacke gleichmäßig verteilt, doch meist in den Vertiefungen des Schlackenkornes sitzend. In dieser Zone waren wenig oder gar keine Larven vorhanden, doch fand sich der Zustand wiederholt auch so, daß auf einem Schlackenstück Psychodalarven und Wasserspringschwänze in gleicher Menge nebeneinander hausten. Wegen des geringen Auftretens konnte der Einfluß der Temperatur und jahreszeitlich bedingte Verschiedenheiten nicht geprüft werden. Eine Verdrängung der Psychoda durch die Springschwänze und umgekehrt kann nach diesen Beobachtungen kaum angenommen werden, vielmehr wird vermutet, daß die Lebensbedingungen und die Nahrungsgrundlagen beider Lebewesen doch so verschieden sind, daß für ein gemeinsames Massenauftreten die Vorbedingungen selten gleichzeitig gegeben sind. Jedenfalls spielte der Wasserspringschwanz für die Bekämpfung der Verschlammung des Beuthener Tropfkörpers keine Rolle.

c) Sonstige höher organisierte Lebewesen.

Außer den bereits angeführten Lebewesen höherer Art konnten im Tropfkörper nur noch Regenwürmer und Nematoden in erheblicher Menge festgestellt werden. Regenwürmer konnten vereinzelt, besonders in schlammreichen Zonen immer wieder angetroffen werden. Ein Massenauftreten war jedoch nie zu verzeichnen. Nur in der Zeit vom 22. bis 28. Oktober 1935 konnte eine Massenauswanderung von Regenwürmern beobachtet werden, die zweifellos jahreszeitlich bedingt war. In diesen Tagen unterschritt die Abwassertemperatur die 15°-Linie, und auch die Außentemperatur sank übereinstimmend stark ab. Den Würmern war es im Körper einfach zu kalt geworden. Diese Abwanderung ist vermutlich auch Hauptursache der starken Schlammausschwemmungen zu dieser Zeit und der vorübergehenden Fäulnisfähigkeit des Abwassers (Abb. 8).

Nematoden wurden besonders im Winter gehäuft festgestellt. Sie überziehen oft in Massen die schlammfreie Unterseite der Schlacke und haften an dieser fest. Im Schlamm konnten sie nicht beobachtet werden, auch dürften sie an der Schlammvernichtung keinen erheblichen Anteil haben. In der starken Ausschwemmung am 18. April waren sie im Ablauf des Tropfkörpers zahlreich vertreten. Auch der heftige Schlammabstoß in den ersten Maitagen dürfte eine jahreszeitlich bedingte Erscheinung darstellen, da der ausgeschwemmte Schlamm unerwartet Fäulnisfähigkeit bei sonst gutem Reinigungsgrad des Abwassers zeigte. Wie weit eine Auswanderung von Organismen dabei mitspricht, konnte nicht geklärt werden, doch würde der Temperaturanstieg in diesen Tagen eine solche Schlußfolgerung wohl zulassen (Abb. 9).

d) Mikroorganismen.

Die Mikroorganismen des Tropfkörpers bleiben zum Unterschied von den höher organisierten Lebewesen, deren Lebensgewohnheiten leichter zu erfassen und zu beobachten sind, für den Nichtbiologen im allgemeinen ein verschlossenes Gebiet. Um so mehr, wenn selbst heute noch »Spezialisten auf dem Gebiete der Eiweißzersetzung diese Vorgänge als eines der ungeklärtesten, biologischen Kapitel« bezeichnen (6). Die nachstehenden Ausführungen können sich daher nur auf die Wiedergabe allgemeiner, deutlich wahrnehmbarer Beobachtungen beschränken, wobei jedoch versucht werden soll, diese mit anderen Veröffentlichungen von Fachbiologen auf diesem Gebiete zu vergleichen.

Die Grundlagen für die biologische Beurteilung des Verschmutzungsgrades verunreinigter Wässer wurden um die Jahrhundertwende durch Kolkwitz und Marsson geschaffen (7). Sie versuchen erstmalig Leitorganismen für die Verunreinigung des Abwassers aufzustellen, indem sie je nach den vorgefundenen Abwasserorganismen (Saprobien) zwischen stark verschmutzten (poly-saprob), mittel verschmutzten (meso-saprob) und schwach verschmutzten (oligo-saprob) Wässern und deren Organismen unterscheiden, die mit Polysaprobien, Mesosaprobien und Oligosaprobien bezeichnet werden. Zum Unterschiede von diesen gedeihen die Katharobien nur im reinen Wasser.

Der Zufluß einer biologischen Reinigungsanlage trägt immer polysaproben Charakter, während im Abfluß nur mehr Mesosaprobien vorherrschen sollen, wobei hier wieder, je nach dem Reinigungsgrad, noch eine $\alpha$- und $\beta$-Stufe unterschieden wird. Von den die polysaprobe Zone beherrschenden und die Verschlammung verursachenden Organismen werden von diesen Verfassern unter anderen folgende, dem Pflanzenreich angehörende Organismen angeführt (8):

Thiothrix nivea (Schizomycetes), weißer Schleim, vorwiegend die Oberfläche der Tropfkörper bedeckend und die wassergefüllten Poren ausfüllend.

Mucor species (Phycomycetes) bildet in der Regel die dicken Häute (Pilze).

Sphaerotilus natans (Schizomycetes) an der Oberfläche, jedoch meist nur gering vertreten.

Beggiatoen (Schizomycetes) und andere.

Es war daher von Interesse zu erfahren, welche Vertreter dieser schlammbildenden Organismen an der Verschlammung des Beuthener Tropfkörpers vorwiegend beteiligt waren. Die Untersuchung einer nach Berlin gesandten Schlackenprobe[1]) lieferte folgendes Ergebnis:

Der schon erwähnte gelblich-graue Belag der Deckschlacke ist in allererster Linie auf das reichliche Vorkommen von Schwefelbakterien zurückzuführen und zwar ist sowohl

[1]) Die Untersuchung wurde freundlicherweise von Herrn Dr. H. Reger, wissenschaftl. Mitglied der Preuß. Landesanstalt für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin-Dahlem, durchgeführt.

Beggiatoa alba als auch Thiothrix nivea vertreten. Neben diesen Schwefelbakterien treten noch zwei Pilze in größerer Menge auf, die sich durch verschiedene Fadendicke voneinander unterscheiden und beide vermutlich in die Verwandtschaft von Mucor gehören. Der bekannte Abwasserpilz Sphaerotilus natans war nicht feststellbar und nur in geringem Umfange tritt der mit Sphaerotilus natans verwandte, aber scheinverzweigte Sphaerotilus dichotomus auf.

Es waren also vor allem Schwefelbakterien und Abwasserpilze, die zweifellos durch die hohe spezifische Belastung reichlich genährt, üppig wucherten, jedoch, wie gezeigt wurde, auch erfolgreich bekämpft werden konnten. Die starke Ausbreitung mag aber nicht nur durch die hohe Belastung selbst gefördert worden sein, sondern vor allem durch den Umstand, daß höhere Körper naturgemäß einen spezifisch höheren Wasseranfall auf die Oberfläche des Körpers nach sich ziehen. Es fällt z. B. auf den 3,70 m hohen Versuchskörper ungefähr die 4- bis 5fache Wassermenge je m² Oberfläche an, als auf einen Körper gleichen Inhalts mit der gewöhnlichen Höhe von 1,80 bis 2,00 m und der üblichen Beschickung. Auch schon aus dieser Überlegung heraus mußte die Verschlammungszone nach der Tiefe entwickelt werden, um den Ausfall an Oberfläche wettzumachen, was auch folgerichtig geschah. Diese nachteilige Erscheinung der höheren, spezifischen Belastung der Körperoberfläche muß übrigens davor warnen, die Ausdehnung der Tropfkörper nach der Höhe zu weit zu treiben, wenn der Charakter des Abwassers diese übermäßigen Pilzwucherungen erwarten läßt.

Nun sei der Versuch gemacht, diese Verschlammungserscheinungen und ihre Bekämpfung mit dem biologisch so aufschlußreichen Versuch an der Preußischen Landesanstalt (6) zu vergleichen. Hier wie dort zwang übermäßiges Wachstum und fortschreitende Ausbreitung der Schwefelbakterien (in Beuthen wahrscheinlich auch Pilze) für Abhilfe Sorge zu tragen, da nicht nur der Wasserdurchtritt gehindert wurde, sondern auch Gefahr bestand, daß die polysaprobe Zone zu weit nach unten reichte und so die Fäulnisunfähigkeit des Wassers gefährdete. Dr. Beger schaltete ein Schlammgefäß ein, wodurch das Wasser von dem übermäßigen Schwefelbakterienrasen befreit wurde. Beim Beuthener Versuch gelang es vor allem durch künstliche Züchtung der Psychoda, das Wachstum dieser Pilze und Bakterien einzudämmen, wobei die Umschließung des Körpers jede Belästigung der Umwelt durch die Massenentwicklung dieser Mücke vermied.

Auch andere Beobachtungen stimmen mit den Schilderungen Dr. Begers sehr weitgehend überein, so z. B. die Entwicklung von mehreren verschiedenartigen Schichten übereinander in der Beggiatoenzone. Wenn die Schlammzone besonders üppig wucherte, konnte man diese Decken oder Häute in zusammenhängenden Fladen loslösen (Abb. 7). Die Deckschicht bildeten die gelbweißen Schwefelbakterien, während darunter die schwarze, anaerobe Faulschlammschicht vorherrschte, die allerdings häufig mit Psychodalarven durchsetzt war.

Durch das jahreszeitlich bedingte Nachlassen der Schlammbeseitigung durch die Psychodalarven wurde auch die Frage erwogen, gleich dem Berliner Versuch den Schlamm der Verschlammungszone auszuscheiden, vor allem um die verderbliche Wirkung auf die gleichmäßige Wasserverteilung durch die entstehenden Schlammbänke zu vermeiden. In diesem Falle konnte aus baulichen Gründen nur zu einem Zweistufensystem gegriffen werden. Es wurden daher zwei Kleinkörper von 1,50 m Dmr. aus Schlacke aufgebaut, wovon der eine mit 1,0 m Höhe der Verschlammungszone entsprechen sollte und mit Schlackenkorn von 15 bis 20 cm Dmr. gefüllt wurde. Der zweite Körper von 3,0 m Höhe erhielt Schlackengröße 3 bis 5 cm. Für den 1,0 m hohen Körper wurde gut eingereifte Schlacke aus dem Versuchstropfkörper entnommen, um ihn sofort wirksam werden zu lassen. Das Abwasser wurde dann zuerst im eigenen Gefälle über diesen kleineren Körper der ersten Stufe geleitet und das ablaufende Abwasser nach Ausscheiden des Schlammes auf den 3,0 m hohen Körper der zweiten Stufe gepumpt. Der Versuch fiel negativ aus, da sich nach einigen Wochen auf der Oberfläche des zweiten Körpers genau der gleiche Pilzrasen auszubreiten begann, der alsbald vollständige Verstopfung der Kleinschlacke und Pfützenbildung nach sich zog. Mag sein, daß der Körper der ersten Stufe zu niedrig gewählt wurde, es wird aber auch vermutet, daß hier eine Oberflächenwirkung, vielleicht der Einfluß der erneuten Berieselung eine Rolle spielte, jedenfalls schien eine weitere Verfolgung dieses Versuches aus wirtschaftlichen Erwägungen heraus nicht mehr gerechtfertigt, da auf alle Fälle eine zweimalige Hebung des Abwassers im Betrieb zu teuer ist.

Auf eine Erscheinung muß noch hingewiesen werden, die recht eindeutig geklärt werden konnte. Jede starke Verschlammung hat bekanntlich eine Verminderung der Reinigungswirkung des Tropfkörpers zur Folge. Dies zeigte sich besonders am Ende des ersten Versuchsabschnittes, konnte aber auch weiterhin in den Wintermonaten häufig festgestellt werden (Abb. 9b). Der Rückgang der Reinigung wird auf folgende Umstände zurückgeführt. Durch starke Ausbreitung der Verschlammungszone wird die gleichmäßige Verteilung des Abwassers vollkommen gestört. Man kann sich durch Versuche leicht überzeugen, daß die verschiedenen Schlammsorten für Wasserdurchtritt verschiedene Sperrfähigkeit aufweisen. Frischer Pilzrasen läßt Wasser nur sehr schwer durch und ist die Hauptursache der Pfützenbildung. Das durch den Drehsprenger in gleichmäßiger Verteilung auf den Körper aufgebrachte Abwasser sammelt sich bei starker Verschlammung in verschiedenen Pfützen, die nach irgendeiner tiefer gelegenen Stelle Abfluß haben, so daß das Abwasser nicht mehr gleichmäßig den Körper durchtropft, sondern in einzelnen Wasseradern durchfließt. Damit fällt ein Großteil des biologischen Rasens des Körpers aus, wodurch der Reinigungserfolg naturgemäß bei steigender Verschlammung in steigendem Maße herabsinken muß. Die gleichzeitig immer mangelhafter werdende Durchlüftung des Körpers trägt zweifellos das ihre dazu bei, ist jedoch vermutlich nicht von so ausschlaggebender Bedeutung. Desgleichen dürfte auch die Anwesenheit faulenden Schlammes in den oberen Zonen nicht von wesentlichem Einfluß sein, da der Reinigungsgrad des Abwassers auch bei erheblichen Ansammlungen von angefaultem, stark riechenden Schlamm in der oberen Schlackenschicht keine merkliche Einbuße erlitt, solange nur die Wasserverteilung nicht gestört war.

Für das stark zur Verschlammung neigende Beuthener Abwasser ist die gewählte Korngröße von 3 bis 5 cm zweifellos zu klein. Es konnte immer wieder deutlich beobachtet werden, daß die Verschlammungsneigung besonders dann sehr groß wird, wenn die Körnung unter 5 cm absinkt. Gröberes Füllmaterial ist jedenfalls die wirksamste Abhilfe gegen die Verschlammungsgefahr. Wie weit allerdings dadurch die Leistungsfähigkeit beeinflußt wird, muß dahingestellt bleiben.

### e) Zusammenfassung.

Bei stark zur Verschlammung neigendem Abwasser stellt die Tropfkörpermücke Psychoda eine nicht zu unterschätzende Helferin bei der Schlammbekämpfung dar. Durch Einschaltung von Ruhepausen kann man ihre Entwicklung günstig beeinflussen und auch im Winter ihr Massenauftreten erreichen, wenn man durch Anordnung von Langpausen und Lüftung im Gegenstrom zum Abwasser die Temperatur in der Verschlammungszone erhöht. In den oberen Schichten des Tropfkörpers muß grobes Korn gewählt werden. Jeder schroffe Übergang zu kleinerem Korn ist zu vermeiden. Kleinere Korngröße als 5 cm dürfte auch für die unteren Tropfkörperzonen nicht zu empfehlen sein.

### 3. Künstliche Belüftung.

#### a) Geruchsfrage.

Eine einfache Überlegung ergibt sofort, daß mit der in einer Rohrleitung zusammengefaßten Abführung der Tropfkörperluft die unangenehmen Duftstoffe zunächst weder beseitigt noch vernichtet werden. Während bei offenen Tropfkörperanlagen die Geruchsbelästigung sich als allgemeine Ausdünstung in Form einer mehr oder minder starken Schwängerung der Luft mit den übelriechenden Duftstoffen bemerkbar macht, werden bei der künstlichen Belüftung die gesamten Duftstoffe zusammengefaßt, die je nach der durchgejagten Luftmenge wechselnd angereichert in Form einer Duftwolke abgegeben werden und sich erst allmählich verteilen. Je nach der Windrichtung trat dann diese Duftwolke vielfach örtlich erheblich stärker belästigend auf als der Gesamtgeruch der noch vorhandenen offenen Anlage.

Wird die Luft im Gegenstrom zum Wasser durch den Körper geleitet (Saugen), dann streicht sie vor dem Verlassen des Körpers über die Verschlammungszone hinweg und kann sich dort, je nach dem Schlammzustand mitunter sehr ausgiebig mit Duftstoffen beladen und kann dann stark belästigen. Dieser kohlartige Geruch wirkt häufig unangenehmer als der gewöhnliche Fäulnisgeruch. Anders liegen die Verhältnisse bei Umkehren des Luftstromes, also beim Luftdurchgang im Gleichstrom mit dem Wasser (Drücken). In diesem Falle wirkt der Tropfkörper als Filter, und da die untere Schlackenzone stets schlammfrei ist, tritt die austretende Luft bedeutend weniger belästigend in Erscheinung. Auf der Beuthener Anlage war völlige Geruchlosigkeit der Abluft auch beim Drücken nicht immer feststellbar, wenn die Belästigung auch zeitweise nur sehr gering war. Die Geruchsbelästigung ist zweifellos von verschiedenen Umständen abhängig und zwar vor allem von der Beschaffenheit des Abwassers, ferner von dem Verschlammungszustande des Tropfkörpers, von der spezifischen Belastung und schließlich noch von der Luftmenge selbst. Die wesentlichste Rolle spielt dabei das Abwasser, da in den Lüftungszeiten die Abluft keineswegs aufdringlich riecht.

Es ist wohl denkbar, daß unter günstigeren Verhältnissen beim Drücken praktisch Geruchlosigkeit erzielt wird. Wenn dies jedoch nicht der Fall ist, dann bietet die Zusammenfassung der Abluft in Rohrleitungen oder Kanälen die Möglichkeit, durch weitere Behandlung des Luftstromes auch die letzten Duftstoffe zu beseitigen oder die Luft abzuleiten und abseits von Wohnsiedlungen austreten zu lassen. Für Beuthen ist geplant, die gesamte Abluft in einem auf der Anlage vorhandenen toten Schornstein von 40 m Höhe zu leiten und so an höhere Luftschichten abzugeben. Der Erfolg muß abgewartet werden. Die Einschaltung eines Geruchsfilters ist jederzeit möglich.

#### b) Fliegenfrage.

Die Fliegenplage oder richtiger ausgedrückt Mückenplage beginnt bei offenen Tropfkörpern immer bei Eintritt sommerlicher Witterung, gewöhnlich im Mai und hält den Sommer hindurch an. Die Lebensbedingungen dieser Schmetterlingsmücke »Psychoda« wurden bereits eingehend beschrieben, und es wurde auch geschildert, daß durch die Umschließung des Tropfkörpers diese noch günstiger gestaltet werden. Die Mücken bleiben im Bauwerk eingeschlossen, gehen dort auch zugrunde und werden teilweise abgebaut, teils abgeschwemmt.

Im ersten Versuchsabschnitt wurde die Luft aus dem Kuppelraum abgesaugt. Im Winterhalbjahr bleiben die Mücken im Körper. Unter normalen Verhältnissen ist eine übermäßige Vermehrung ohnehin nicht zu befürchten. Im Sommerhalbjahr schwärmen sie jedoch im Kuppelraum aus und bedecken oft Wände und Decke, desgleichen Drehsprenger und unberieselte Schlacke mit einer lebenden Haut und schwirren im Raum umher. Naturgemäß wurden sie auch in Massen abgesaugt und durch den Exhaustor herausgeschleudert. In der Saugleitung sammelten sich auch Millionen Mückenleichen an und bildeten unter Einfluß der Feuchtigkeit an der Rohrwandung festgebackene Beläge. Wenn auch keine Mücke lebend nach außen gelangte, so war dieser Zustand doch wenig befriedigend. Als dann im zweiten Versuchsabschnitt die Luft in den Kuppelraum gedrückt wurde, war auch diese Frage restlos geklärt. Da die Psychoda Schlamm als Nährboden braucht, diesen aber in den untersten Tropfkörperzonen nicht vorfindet, ist auch ein Überhandnehmen der Mücken in den Ablaufkanälen nicht beobachtet worden. Da die Mücke aber immer nach oben strebt, ist ihre Durchwanderung nach unten auch in Ruhepausen nicht zu befürchten.

#### c) Luftdichtigkeit und Druckverhältnisse.

In der ersten Zeit bestanden Bedenken, ob die Wandungen und die Decke genügend luftdicht seien, so daß tatsächlich die gesamte einströmende Luft durch den Schlackenkörper hindurchtritt oder ob Verluste durch die Poren der Wandungen zu befürchten sind. Die Hülle des Tropfkörpers bestand aus Eisenbeton und erhielt außen einen gewöhnlichen Zementputz und innen zum Schutze gegen eindringende Feuchtigkeit einen bituminösen Anstrich auf der schalungsrauhen Betonfläche. Obwohl die unbedingte Wasserdichtigkeit der Wand nicht gegeben war, wie die bei Verstopfungen des Körpers fallweise durchtretende Innenfeuchtigkeit bewies, so war diese Ausführungsart doch genügend luftdicht. Da die Luft im ersten Versuchsabschnitt an der Ein- und Austrittstelle in Rohren geführt wurde, konnte die Luftmenge recht genau gemessen werden. Wiederholt angestellte Messungen ergaben stets praktisch genügende Luftdichtigkeit der Betonhülle und betrug der Luftverlust höchstens wenige Hundertteile. Diese Tatsache wird ohne weiteres verständlich, wenn anschließend darauf hingewiesen wird, daß ein Über- oder Unterdruck zur Erzielung der Luftströmung kaum notwendig ist. Ein schlammfreier Schlackenkörper bietet der Luft keinen Widerstand. Der gemessene Druckunterschied war im Körper daher stets gering und betrug höchstens einige Millimeter Wassersäule, wobei allerdings noch Rohrleitungs- und Schieberwiderstände mit berücksichtigt werden müssen.

Anders liegen die Verhältnisse bei verschlammten Körpern. Der Verstopfungsgrad kündigt sich deutlich durch eine Erhöhung des Druckwiderstandes an. Am Ende des ersten Versuchsabschnittes, anfangs der 42. Betriebswoche (Abb. 3) deutete ein solches Ansteigen des Druckes bis auf 36 mm ebenfalls auf weitgehende Verschlammung hin. Nach viertägigem Stillstand der Beschickung sank der Unterdruck wieder auf 18 mm herab, um bei Wiederbeschickung erneut auf 26 mm anzusteigen. Diese Erscheinungen werden klar bei einfacher Überlegung des Strömungsvorganges. Bei einer Beschickung mit 100 m³ Luft je m³ Material und Tag, wird bei dem Versuchskörper $100 \cdot \frac{610}{24} = 2542$ m³ Luft je Stunde angesaugt. Dies entspricht einer Luftmenge von 707 l/s. In der Rohrleitung von 30 cm Dmr. beträgt die Luftgeschwindigkeit daher 10 m/s. Beim Durchtritt durch die Schlacke vergrößert sich der Querschnitt ungeheuer. Der Hohlraum der trockenen Schlacke wurde mit 60% festgestellt. Davon sind abzuziehen etwa 15% für den biologischen Rasen und 5% für das im Körper vorhandene Abwasser, so daß während der Beschickung ein Hohlraum von 40% verbleibt. Der freie Querschnitt beträgt dann

$$\frac{14{,}5^2 \cdot \pi}{4} \cdot 0{,}4 = 66 \text{ m}^2,$$

so daß die Strömungsgeschwindigkeit der Luft etwa

$$\frac{0{,}707}{66} = 0{,}0107 \text{ m/s} = 1{,}07 \text{ cm/s}$$

beträgt. Dementsprechend ist im Tropfkörper nur an der Ein- und Austrittsstelle die Luftströmung feststellbar, im Körperinnern aber nicht. Wenn beim Aufnehmen der Schlacke schwache Luftströmung beobachtet wurde, deutete dies bereits auf weitgehende Verschlammung hin.

### d) Saugen oder Drücken.

Diese wichtige Frage, ob die Luft in der Richtung des Wasserstromes (Drücken) oder im Gegenstrom zum Wasser (Saugen) zu führen ist, kann nicht kurzerhand entschieden werden. Wenn sonst keine Gründe dagegen sprechen, ist das Drücken (Gleichstrom) entschieden dem Saugen (Gegenstrom) vorzuziehen, da damit gleichzeitig die Mückenfrage und vielfach auch die Geruchsfrage gelöst ist. Anders liegen aber die Verhältnisse, wenn im Winter die Verschlammungsgefahr droht, da dann die Schlammzone durch die Luft zu stark abgekühlt wird. Der richtige Weg ist dann der, im Sommer die Luft im Gleichstrom und im Winter im Gegenstrom durch den Körper zu schicken. Im Winter scheidet die Mückenplage vollkommen aus, es ist also lediglich die stärkere Geruchsbelästigung in Kauf zu nehmen, und wie der begegnet werden kann, wurde bereits erwähnt.

Eine andere Frage drängt sich jedoch dabei auf und zwar welche Belüftungsart den Reinigungserfolg günstiger beeinflußt. Diese Frage könnte erschöpfend nur durch langandauernde Beobachtung an zwei sonst gleichartigen Anlagen einwandfrei beantwortet werden, da an einem Körper soviel andere Umstände den Reinigungsgrad beeinflussen, daß dieser Unterschied kaum in Erscheinung treten kann. Es bot sich aber noch eine andere Vergleichsmöglichkeit, die von folgenden Überlegungen ausging. Zweck der künstlichen Belüftung ist die ausreichende Sauerstoffzufuhr für die biochemischen Umsetzungen bei gleichzeitiger Ableitung der für die Organismen schädlichen Kohlensäure. Nun ist die Kohlensäure bekanntlich schwerer als Luft und drängt, der Schwere folgend, nach unten. Demgemäß müßte der Luftstrom nach abwärts günstiger wirken. Es war daher zu prüfen, bei welcher Belüftungsart mehr Kohlensäure aus dem Körper entfernt wird. Die Konzentration der Abluft an $CO_2$ wäre immerhin ein Maßstab für die Heftigkeit der biochemischen Umsetzungen und damit des Wirkungsgrades der Belüftungsart.

Eine solche Untersuchung wurde an sechs aufeinanderfolgenden Tagen durchgeführt und das Ergebnis in Zahlentafel 5 festgehalten.

Zahlentafel 5.

| Stunde | Luftstrom | Analyse in % $O_2$ | Analyse in % $N_2$ | Analyse in % $CO_2$ | stündliche Wassermenge | stündliche Luftmenge | Kohlenstoff in mg/l Abwasser | C in mg/l auf 1000 m³ Luft |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $11^{45}$ | Drücken | 19,6 | 79,6 | 0,8 | 60 | 1418 | 89,5 | 78,5 |
| $11^{45}$ | Saugen | 19,75 | 79,5 | 0,75 | 60 | 1147 | 70,5 | 67,2 |
| $11^{45}$ | Drücken | 19,8 | 79,5 | 0,7 | 60 | 1398 | 79,8 | 70,5 |
| $11^{30}$ | Saugen | 19,9 | 79,45 | 0,65 | 60 | 1000 | 53,0 | 53,0 |
| $12^{00}$ | Drücken | 19,6 | 79,6 | 0,8 | 60 | 1398 | 91,5 | 80,8 |
| $12^{00}$ | Saugen | 19,65 | 79,45 | 0,7 | 60 | 1168 | 66,8 | 63,2[1]) |

[1]) Wasser war durch Regen stark verdünnt.

Wenn auch die Luftmenge aus technischen Gründen nicht ganz unveränderlich gehalten werden konnte, so ergibt der Vergleich des Kohlensäuregehaltes der einzelnen Luftproben recht deutlich, daß beim Luftstrom von oben nach unten mehr Kohlensäure aus dem Tropfkörper herausgeholt wurde. Entsprechend der geringeren Luftmenge beim Saugen müßte hier der Kohlensäuregehalt höher liegen, wenn gleiche Wirkung beider Verfahren Voraussetzung sein soll. Wenn man nach Reduktion auf Druck und Temperatur die absolute Menge des in Kohlensäure umgewandelten Kohlenstoffes je Liter Abwasser ermittelt, wie dies in der vorletzten Spalte geschehen ist, so erhält man einen recht guten Einblick in die Auswirkung der gefundenen Ergebnisse. Um bessere Vergleichszahlen zu erhalten und von der Luftmenge unabhängig zu sein, wurde in der letzten Spalte der Zahlentafel noch der Kohlenstoff auf 1000 m³ Luft je Stunde bezogen, wobei die in Abb. 16 dargestellte Beziehung zwischen Luft- und Kohlenstoffmenge berücksichtigt wurde; so betrachtet ergeben sich folgende Mittelwerte:

Im Gleichstrom . . . 76,5 mg/l,
im Gegenstrom . . . 61,0 mg/l.

Der Unterschied beträgt 15,5 mg/l oder 20%; demnach wäre der Gegenstrom wohl ungünstiger, doch ließe sich der Fehlbetrag durch entsprechende Vermehrung der Luftmenge ausgleichen, ohne die Betriebskosten dadurch wesentlich zu erhöhen. Jedenfalls steht der unter Umständen gewonnene Vorteil (Bekämpfung der Verschlammung) in keinem Verhältnis zu diesem geringen Nachteil.

### e) Einfluß der Belüftung.

Sehr von Bedeutung war die Frage, welchen Einfluß die künstliche Belüftung auf die Leistung des Tropfkörpers ausübt, um auf diese Weise Anhaltspunkte zu gewinnen, wieweit eine Steigerung der Luftmenge wirtschaftlich noch vertretbar erscheint. Da der unmittelbare Vergleich an zwei gleichartigen Körpern nicht möglich war, wurde auch hier der Weg versucht, an Hand des Vergleiches des Kohlensäuregehaltes der Abluft Einblicke zu gewinnen. Das Untersuchungsergebnis über die Zusammensetzung der Abluft an sieben aufeinanderfolgenden Tagen bei veränderlicher Luftmenge zeigt nachstehende Zahlentafel 6.

Zahlentafel 6.

| Stunde | Wassermenge je Stunde | Luftmenge je Stunde | $O_2$ | $N_2$ | $CO_2$ | $CH_4$ | $C_nH_m$ | C in mg/l Abwasser |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $11^{35}$ | 80 m³ | 534 m³ | 16,8 | 80,95 | 2,05 | 0,1 | 0,1 | 66,1 |
| $11^{40}$ | 80 m³ | 1373 m³ | 18,95 | 79,9 | 1,15 | Spuren | — | 95,4 |
| $11^{35}$ | 80 m³ | 2770 m³ | 19,8 | 79,5 | 0,7 | — | — | 116,7 |
| $11^{35}$ | 80 m³ | 3660 m³ | 20,1 | 79,4 | 0,5 | — | — | 110,4 |
| $11^{35}$ | 80 m³ | 4855 m³ | 20,2 | 79,35 | 0,45 | — | — | 132,1 |
| $11^{45}$ | 80 m³ | 6400 m³ | 20,2 | 79,4 | 0,4 | — | — | 155,3 |
| $11^{25}$ | 80 m³ | 6610 m³ | 20,35 | 79,3 | 0,35 | — | — | 139,6 |

Um diese Ergebnisse besser überblicken und beurteilen zu können, wurden sie in Abb. 16 zeichnerisch aufgetragen. In dieser Darstellung ist durch die gestrichelte Linie der Kohlensäuregehalt in seiner Abhängigkeit von der Luftmenge angegeben. Es ist in recht eindeutiger Weise eine Kurve erkennbar, die die $X$-Achse offenbar erst im Unendlichen berührt, die $Y$-Achse jedoch im Endlichen schneiden muß, nämlich dann, wenn der gesamte Sauerstoff durch Kohlensäure ersetzt ist. Lange bevor dieser Zustand erreicht wird, müssen jedoch längst die luftliebenden Organismen zugrunde gehen und durch luftfeindliche Lebewesen verdrängt werden. Es ist daher anzunehmen, daß schon bei einer wesentlich unter diesem Grenzwert liegenden Kohlensäurekonzentration die Tätigkeit des Körpers zum Erliegen kommt. Man kann auch unschwer einschätzen, wie hoch die Kohlensäurekonzentration in unbelüfteten Tropfkörpern, d. h. in Körpern, bei denen nur eine natürliche Lüftung durch entsprechende Baumaßnahmen gesichert wird, liegen mag. Eine Belüftung mit 500 m³/h wird durch natürliche Lüftung kaum bewirkt werden können, so daß die Konzentration sicher höher als bei 2% liegen dürfte.

Der günstige Einfluß der künstlichen Belüftung wirkt sich vor allem dahin aus, daß die Kohlensäure ständig

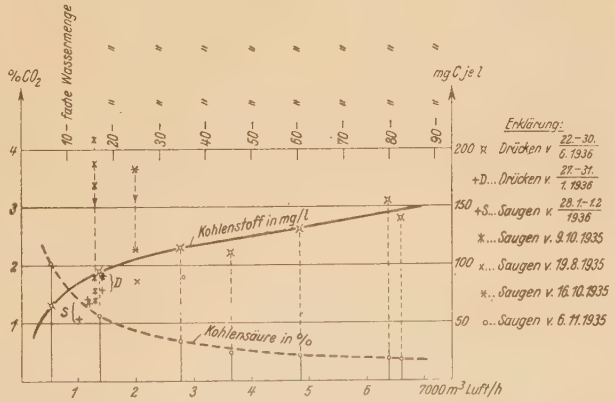


Abb. 16. Kohlensäure- und Kohlenstoff-Gehalt der Abluft.

aus dem Körper entfernt und auf diese Weise dauernd Platz für den Zutritt neuen Luftsauerstoffes geschaffen wird. Dadurch wird die lebenhemmende, übermäßige Konzentration an Kohlensäure im Körper selbst verhindert und eine gesteigerte Lebenstätigkeit der Mikroorganismen hervorgerufen. Sehr anschaulich läßt sich dieser Erfolg darstellen, wenn man die absolute Menge des Kohlenstoffes bezogen auf 1 l der der Reinigung unterzogenen Abwassermenge der Betrachtung zugrunde legt, wie dies in der stark ausgezogenen Kurve der Abb. 6 geschehen ist. Bei steigender Luftzufuhr steigt die Kohlenstoffmenge zuerst rasch und später bedeutend langsamer, aber doch stetig an. Dies kann man wohl dahin deuten, daß durch gesteigerte Sauerstoffzufuhr und Verminderung der Kohlensäurekonzentration auch die Abbauvorgänge gesteigert werden. Damit ergibt sich auch ein guter Einblick in die Bedeutung der künstlichen Belüftung an sich. Da die Kohlenstoffmenge, in mg/l Abwasser ausgedrückt, auch einen gewissen Maßstab für die Menge der abgebauten organischen Substanz durch die künstliche Belüftung darstellt, kann man auch die Wirtschaftlichkeit der Luftmengensteigerung abschätzen, sobald der Gesamtverlust an organischer Substanz des Abwassers durch die biologische Reinigung bekannt ist. Gleichlaufend geführte Untersuchungen dieser Art haben ergeben, daß bei Belüftung mit 50facher Wassermenge eine Leistungssteigerung um etwa 100 bis 170% denkbar wäre. Dies stimmt mit der tatsächlich erzielten Leistungssteigerung durch die künstliche Belüftung an dem Versuchskörper recht gut überein.

An Hand dieser Ergebnisse war es naheliegend, auch den Wert der Lüftungszeiten näher zu untersuchen. Am Ende einer vierstündigen Beschickungspause wurde ebenfalls eine Abluftprobe der Analyse unterworfen. Das Ergebnis war:

20,1% Sauerstoff,
79,4% Stickstoff,
0,5% Kohlensäure.

Die Luftmenge betrug stündlich 3550 m³, so daß dadurch die gleiche Kohlensäuremenge angezeigt wird, wie bei voller Beschickung, d. h. aber, daß gewisse biochemische Abbauvorgänge im Körper auch während der Ruhezeit unverändert fortlaufen und dadurch sehr erhebliche organische Substanzen vernichtet werden, ohne daß neue Substanzen zugeführt werden. In einer 24stündigen Ruhepause würden bei diesen Voraussetzungen nach Abb. 16 unter einer gedachten Beschickung von 80 m³ je h: $24 \cdot 80 \cdot 120 = 230000$ g C oder 230 kg Kohlenstoff in Form von Kohlensäure abgeführt werden. Bei einem Wassergehalt des Tropfkörperschlammes von 96% würden dieser Trockensubstanz

$$230 \cdot \frac{1000}{40} = 5750\,\text{l} = 5{,}75\,\text{m}^3 \text{ Schlamm}$$

entsprechen. Mit dieser Schlammenge ist aber nur ein Teil der vernichteten organischen Substanz erfaßt. Erhebliche Mengen anderer Abbauprodukte bleiben im Körper liegen, bis sie durch die neu einsetzende Berieselung abgeschwemmt werden. Damit sind die Spitzen in den Absetzproben nach jeder Ruhepause restlos geklärt. Sie treten um so deutlicher in Erscheinung, je länger die Pause andauert und je stärker der Körper verschlammt ist. Bezeichnend hierfür sind z. B. folgende Einzelabsätze nach einer 12stündigen Ruhepause:

| Entnahmezeit | Absetzprobe nach 2 Stunden: |
|---|---|
| 11 Uhr | 10 cm³/l |
| 13 » | 8 » |
| 15 » | 4 » |
| 17 » | 4 » |
| 19 » | 3,5 » |
| 21 » | 2,5 » |

Der Einfluß der in gewissen Zeitabständen eingeschalteten Langpausen oder ganztägiger Unterbrechungen ist aus der Absetzkrumme der Abb. 3, 8 und 9 unmittelbar zu entnehmen. Die Spitzen treten nach jeder größeren Beschickungspause deutlich in Erscheinung. Die schlammlösende Wirkung und die damit verknüpfte Leistungssteigerung durch Verbesserung der Wasserverteilung geht besonders deutlich aus der Abnahme des biochemischen Sauerstoffbedarfes in der 3. Betriebswoche der Abb. 9a hervor, kann aber auch gut durch das ganze Versuchsjahr 1936 verfolgt werden. Auch in der 40. bis 43. Betriebswoche der Abb. 9b ist der Einfluß der Langpausen auf die Sauerstoffbedarflinie gut zu erkennen.

Im Zusammenhang damit sei nochmals der Versuch in der 40. und 41. Betriebswoche des zweiten Versuchsabschnittes erwähnt, durch Einschaltung von halb- oder einstündigen über den ganzen Tag gleichmäßig verteilten Beschickungspausen eine schlammabstoßende Wirkung zu erzielen. Obwohl dadurch teilweise die Leistung ebenso stark herabgemindert wurde, wie bei Einschaltung von Langpausen, zeigt die Absetzkrumme doch keine Ausschwemmungen an, die jedoch sofort eintraten, als in der 42. Betriebswoche die Aussetzung der Beschickung wieder in Langpausen zusammengefaßt wurde (Abb. 8b). Während bei Langpausen stets ein Rückgang der Verschlammung in den oberen Zonen eintritt, wird die Ausbreitung der Pilzdecken durch Einschaltung zu kurzer Pausen auch bei häufiger Wiederholung im Laufe des Tages nicht behindert. Damit ergab sich abermals für den Versuchskörper in klarer Weise die Überlegenheit der Einschaltung einmaliger, längerer Ruhepausen täglich, gegenüber dem bei offenen Tropfkörpern üblichen unterbrochenen Betrieb.

Die Reinigungskraft eines Körpers ist also gegeben durch die Summe der vorhandenen Mikroorganismen, die sich normalerweise nicht kurzfristig verändern läßt. Diese Summe kann durch allmähliche Steigerung der Belastung auch erhöht werden. Jede plötzliche Überbelastung findet natürlich nicht genügend Lebewesen zur Bewältigung der zugeführten Nahrung vor und hat ungenügende Reinigung zur Folge. Auch bei langsamer Steigerung der Belastung müssen die Lebewesen erst allmählich mengenmäßig sich entsprechend vermehren, weshalb zu Beginn einer Steigerung die Reinigung meist zurückgeht, während sich diese bei Fortdauer höherer Beschickung in der Regel allmählich bessert. Diese Steigerung hat natürlich eine obere Grenze, die durch die Siedlungsmöglichkeit der Mikroorganismen gegeben ist. Diese Grenze müßte mit anderen Worten gegeben sein durch die Menge des biologischen Rasens eines Körpers, soweit sich dieser auszubreiten vermag, ohne den aeroben Zustand des Körpers zu gefährden. Jede plötzliche Verminderung der Belastung während einer hohen Belastungszeit muß sich in ähnlicher Weise auswirken wie eine Ruhepause. Wenn den durch die hohe Belastung herangezüchteten Lebewesen plötzlich weniger Nahrung zugeführt wird, als sie laufend zu erhalten gewohnt sind, müssen sie von der vorhandenen überschüssigen Substanz leben. Eine Ausnahme scheinen gewisse Abwasserpilze zu bilden, die sich nur bei andauernder Berieselung günstig entwickeln und auch bei geringer Belastung sich übermäßig ausbreiten können. (2. Versuchsabschnitt, Abb. 8a in der 1. bis 2. Betriebswoche.)

Daß jede vorübergehende schwache Beschickung ähnlich einer Ruhepause wirkt, konnte durch folgende Erscheinung bestätigt werden: In Abb. 16 wurden auch die Ergebnisse aller anderen Luftanalysen, ausgedrückt in Kohlenstoff, eingetragen. Die Werte vom 28. 1. bis 1. 2. 1936 (S), vom 19. 8. 1935 und 6. 11. 1935 liegen alle unterhalb der Kohlenstoffkurve, da die Luft im Gegenstrom (Saugen) entnommen wurde. Die Werte vom 27. bis 31. 1. 1936 (D) liegen dagegen der Kurve sehr nahe, soweit sie ebenfalls dem Gleichstrom (Drücken) entstammen. Ganz aus dem Rahmen fielen jedoch die Proben vom 9. und 16. 10. 1935. Ein Blick auf Abb. 8a lehrt, daß für die Probe vom 9. 10 (23. Betriebswoche) und 16. 10. (24. Betriebswoche) die Belastung an diesen Tagen vorübergehend gesenkt wurde. Dies geschah deshalb, weil damals die Bilanz der Trockensubstanz bei diesen niedrigen Belastungen festgestellt werden sollte. Geplant war ursprünglich, mit der 21. Betriebswoche beginnend, die Belastung immer erst nach Ablauf einer Woche zu steigern und bei den verschiedenen Belastungen am Ende

der Woche einen Bilanzversuch durchzuführen, um die Abhängigkeit des Abbaues organischer Substanzen von der Belastung festzustellen. Um Besonderheiten in der Zusammensetzung des Abwassers möglichst auszuschalten, war ein bestimmter Wochentag festgelegt worden. Dieser Versuchsplan wurde aber dadurch verhindert, daß schon der erste Versuchstag verregnet wurde. Nun war es damals viel wichtiger zu erfahren, wie sich der Körper in der kalten Jahreszeit bei starker Beschickung verhält. Deshalb wurde der Versuchsplan dahin abgeändert, daß nur an den Versuchstagen die Belastung gesenkt, sonst aber durchgehend hochgehalten werden sollte. Und hier zeigt sich so richtig die Fragwürdigkeit solcher Untersuchungen, die damals wohl schon geahnt wurde. Der Kohlenstoffgehalt der Luftproben ergab nachstehende Werte:

Zahlentafel 7.

| Tag | Stunde | Belastung am Versuchstag | laufende Belastung | Kohlenstoffmenge auf Versuchstag bezogen | Kohlenstoffmenge auf laufend bezogen |
|---|---|---|---|---|---|
| 9.10. | $7^{45}$ | 26 m³/h | 63 m³/h | 171,0 mg/l | 70,5 mg/l |
| | $15^{00}$ | 26 » | 63 » | 210,5 » | 88,9 » |
| | $22^{00}$ | 26 » | 63 » | 190,3 » | 78,6 » |
| 16.10. | $15^{30}$ | 42 » | 70 » | 185,5 » | 110,0 » |

Die drei Luftproben am 9. 10. und die Probe am 16. 10. zeigen umgerechnet auf die tatsächliche Wassermenge dieses Tages sehr hohe Werte, die in Abb. 16 eingetragen, ganz aus dem Rahmen fallen. Wenn man jedoch diese Werte auf die laufende Belastung in den Tagen vor ihrer Entnahme bezieht, liegen die Kohlenstoffwerte in unmittelbarer Nähe der Kurve. Das bedeutet aber, daß für die Kohlensäureerzeugung dieses Tages nicht die tatsächliche Wassermenge maßgebend war, sondern die durch die vorangehende höhere Belastung herangezüchtete Menge an Mikroorganismen, die bei vorübergehender geringerer Belastung die im Körper aufgespeicherte Substanz mangels anderer verarbeiten, so daß die Kohlensäureerzeugung in gleicher Menge erhalten bleibt.

Abschließend muß betont werden, daß an Hand dieser wenigen Untersuchungen die wichtige Frage der künstlichen Belüftung keineswegs auch nur annähernd erschöpfend geklärt werden konnte. Sie reichen vielleicht gerade, um für die weitere Forschung die zu beschreitenden Wege aufzuweisen. Wichtig erscheint die Klärung dieses Einflusses vor allem deshalb, weil darin die Wirtschaftlichkeit des ganzen Verfahrens verankert ist. Immerhin dürfte es gelungen sein, einige wichtige Anhaltspunkte über Wert und Umfang der Belüftung für den weiteren Ausbau der Kläranlage in Beuthen gewonnen zu haben und vor allem die Bedeutung der Ruhepausen für den Betrieb dieser Tropfkörper restlos klarzustellen. Nach dem Vollausbau wird es erst möglich sein, durch vergleichende Betrachtungen an verschiedenen Körpern diese Fragen erschöpfender zu behandeln.

### f) Zusammenfassung.

Die Geruchsbelästigung kann wesentlich herabgemindert, wenn nicht unter Umständen beseitigt werden, wenn man die Luft im Gleichstrom mit dem Wasser durch den Körper leitet. Bei dieser Luftrichtung wird im Sommer gleichzeitig der Austritt der Mücken aus dem Körper verhindert. Wird dagegen die Psychoda im Winter für den Schlammabbau benötigt, dann ist die Umkehrung des Luftstromes (Gegenstrom) erforderlich. Die Umschließung des Tropfkörpers durch einen Betonmantel gewährt hinreichende Luftdichtigkeit. Über- oder Unterdruck ist für die Luftbewegung nicht erforderlich, solange nur der Widerstand im Tropfkörper selbst in Frage kommt. Auf die Leistung des Verfahrens dürfte die Stromrichtung der Luft keinen allzu großen Einfluß haben. Die Bedeutung der künstlichen Belüftung darf nicht überschätzt werden. Die erzielbare Leistungssteigerung dürfte höchstens das zwei- bis dreifache gegenüber der bei offenen Tropfkörpern üblichen Leistung betragen. Der Wert der Lüftungszeiten liegt im biologischen Beharrungsvermögen der Organismen im Tropfkörper begründet, da die Lebewesen bei mangelnder Nahrungszufuhr den vorhandenen Schlamm verzehren. Neben der Mitwirkung der Psychoda ist die planmäßige Einschaltung solcher Beschickungspausen ein wichtiges Hilfsmittel für die Schlammbekämpfung in Tropfkörpern.

### 4. Leistung des Verfahrens.

Die maßgebendste Ausdrucksform für den organischen Verschmutzungsgrad des Wassers stellt heute wohl in allgemein anerkannter Weise die 48stündige Sauerstoffzehrung und bei stärkerer Verschmutzung der 5tägige biochemische Sauerstoffbedarf dar, weil darin in bester Weise die vor allem unheilvolle Schädigung des Vorfluters durch zusätzliche Verunreinigung mit sauerstoffzehrenden, organischen Substanzen zum Ausdruck kommt. (1) und (9). Die Herabsetzung dieser Verschmutzung durch eine biologische Reinigungsanlage, ausgedrückt durch die Abnahme des BSB 5, ergibt daher einen guten Maßstab für die Leistung eines Verfahrens. Den Versuch, die Leistung des künstlich belüfteten Tropfkörpers der Beuthener Kläranlage durch das Produkt der stündlichen Wassermenge × BSB 5 auszudrükken, gibt Abb. 17 und 18 wieder. Störend wirken dabei

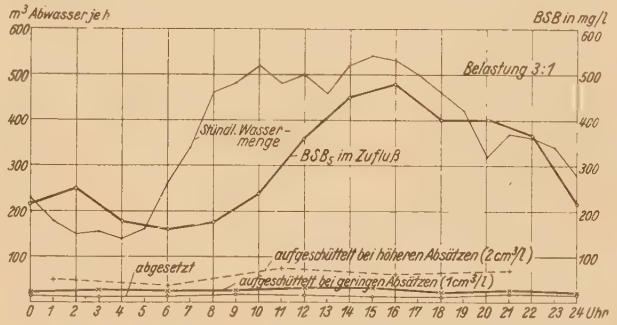


Abb. 17. Schwankungen des BSB 5.

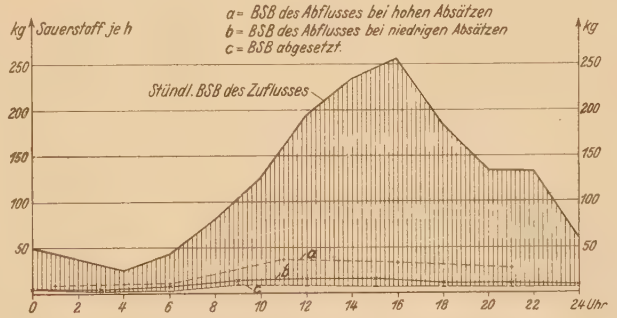


Abb. 18. Abbauleistung ausgedrückt durch den BSB 5.

nur die starken Schwankungen in dem Gehalt des Abflusses an absetzbaren Schwebestoffen. Da aber in der Regel bei biologischer Reinigung des Abwassers auch die Ausscheidung dieser Ausschwemmungen gefordert wird (beim Belebtschlammverfahren eine Selbstverständlichkeit), kann dieser Einfluß auch ausgeschaltet werden. Das biologisch gereinigte Abwasser in abgesetztem Zustand liefert aber gleichmäßigere BSB 5-Werte, die im wesentlichen nur mehr von der Belastung des Tropfkörpers und der Belüftung abhängig sind.

Für die Leistung des Tropfkörpers ist nicht die Tagesleistung, sondern die größte, stündliche Beschickung oder die spezifische Belastung entscheidend. Diese ist abhängig

von der mengenmäßigen Verteilung des Abwassers im Laufe des Tages. Nach den Messungen ergab sich die höchste spezifische Belastung mit etwa dem 1,5fachen Wert des stündlichen Durchschnittswertes der täglichen Wassermenge. Imhoff gibt diesen Wert mit 1,7 an (9). Auf Grund des dreijährigen Versuches haben sich diese Schwankungen in der Wassermenge für den Betrieb des Tropfkörpers als vorteilhaft erwiesen, da sich dadurch die Einlage der so wirkungsvollen Lüftungszeiten von selbst ergibt. Wenn das Verhältnis der höchsten spezifischen Belastung zum Tagesdurchschnitt noch ungünstiger wird und 2,0 übersteigt, wird die Anordnung von Rückhaltebecken zu erwägen sein.

Der Reinheitsgrad biologisch gereinigten Abwassers ist in diesem Sinne im wesentlichen durch zwei Eigenschaften gekennzeichnet.

1. Durch die Fäulnisunfähigkeit des Abwassers und
2. durch den biochemischen Sauerstoffbedarf (BSB 5).

Nun ergaben die Versuche überzeugend, daß zwischen der Fäulnisunfähigkeit des Abwassers und dem höchsten erzielbaren biologischen Reinigungsgrad eine weite Spanne besteht. So konnten fäulnisunfähige Abflüsse vereinzelt noch bei einer spezifischen Belastung von 4 : 1, sicher jedoch und dauernd bei 3 : 1 erzielt werden, während der Reinigungsgrad durch Herabsetzung der Belastung bis auf 2 : 1 oder 1,5 : 1 noch wesentlich verbessert werden konnte. Nun ist es wirtschaftlich gesehen natürlich nicht gleichgültig, ob man die einfache oder die dreifache Abwassermenge mit dem gleichen Kostenaufwand reinigen kann. Es erschien daher besonders wesentlich, diese Zusammenhänge näher zu untersuchen.

Zu diesem Zwecke wurde folgender Versuchsplan festgelegt: Die spezifische Belastung sollte bis auf den Höchstwert getrieben werden, bei dem noch fäulnisunfähige Abflüsse sicher erzielbar sind. Dann sollte im Abstand von 8 bis 10 Tagen die Belastung stufenweise geändert, durch die Versuchszeit jedoch auf gleicher Höhe durchgehalten werden. Gegen Ende eines solchen Versuchsabschnittes sollten drei Proben an verschiedenen Tagen entnommen und der BSB 5 bestimmt werden. Gleichzeitig sollte auch die 48stündige Zehrung ermittelt werden. Untersucht wurde nur der Abfluß in abgesetztem Zustande, immer zur gleichen Tagesstunde. Von der Untersuchung des Zuflusses wurde abgesehen, da dessen BSB 5 durch viele Untersuchungen hinreichend bekannt war (400 bis 500 mg/l). Die Belüftung wurde mit der 60- bis 70fachen Wassermenge bemessen. Das Ergebnis dieser Versuchsreihe gibt Abb. 19 wieder. In dieser Darstellung sind in der oberen Hälfte die verschiedenen Einzelwerte des biochemischen Sauerstoffbedarfes

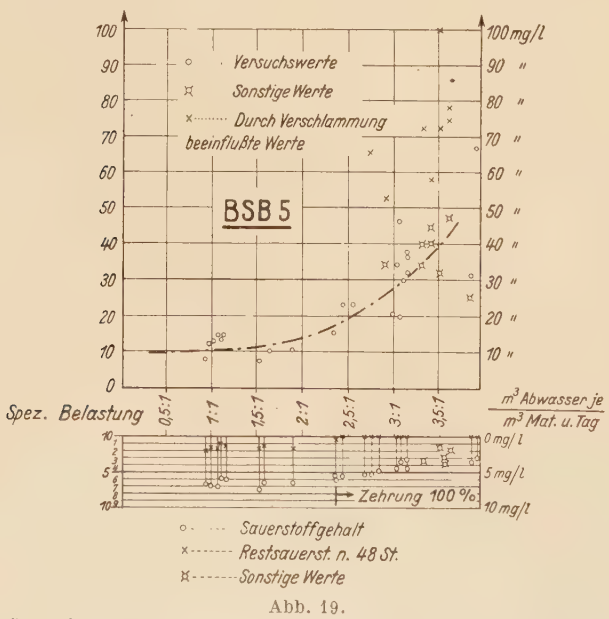


Abb. 19.
BSB 5, Sauerstoffgehalt und Zehrung bei verschiedenen Belastungen.

bei den verschiedenen Belastungen angegeben. Zur Ergänzung wurden auch die übrigen in der folgenden Zeit ermittelten BSB-Werte eingetragen. Die durch starke Verschlammung beeinflußten Werte wurden jedoch besonders gekennzeichnet. Man kann aus den Unterschieden ganz gut darauf schließen, in welchem Umfange durch die Verschlammung und die dadurch gestörte Wasserverteilung Teile des Tropfkörpers beim Reinigungsvorgang ausgeschaltet waren. In der Abbildung wurde der ungefähre Verlauf der normalen BSB-Kurve durch eine starke, strichpunktierte Linie angedeutet.

Das Ergebnis dieser Untersuchungen ist sehr aufschlußreich und grundlegend für alle wirtschaftlichen Betrachtungen. Bis zu einer spezifischen Belastung von etwa 2:1 ist das gereinigte und abgesetzte Abwasser klar und gut durchsichtig, hat sehr viel Nitrite und Nitrate und die Methylenblauprobe hält sich bei Zimmertemperatur länger als eine Woche. Eine Senkung der Belastung unter diesen Wert bringt nur unwesentliche Besserung des Reinigungsgrades und ist daher wirtschaftlich nicht mehr vertretbar. Die im unteren Teil der Abb. 19 aufgetragenen Werte des Sauerstoffgehaltes des Abwassers und der 48stündigen Zehrung ergeben eine abermalige Bestätigung dieser Tatsache. Bis zu einer Belastung von 2:1 blieb die Zehrung immer zwischen 70 und 85% und erreichte erst bei weiterer Steigerung der Wassermenge 100%. Nur vereinzelt war noch unter besonders günstigen Umständen Restsauerstoff bei 2,4:1 vorhanden. Bei höherer Belastung steigen die BSB-Werte bei gleichzeitig sinkendem Sauerstoffgehalt rasch an, doch konnte auch bei einer spezifischen Belastung von 4:1 die Bildung von Schwefelwasserstoff nach 10 Tagen nicht festgestellt werden. In gleicher Weise vermindert sich der Gehalt an mineralischen Stickstoffverbindungen und die Haltbarkeit der Methylenblauprobe bei 20°.

Auch die starken Zustandsschwankungen des Tropfkörpers, die den ganzen Versuchsverlauf hindurch immer wieder beobachtet werden konnten, finden hier ihre Bestätigung in den stark streuenden Einzelwerten bei gleicher Belastung. Die Unterschiede, die bis zu 100% betragen können, sind bei geringer Belastung ohne Bedeutung, da die Werte an sich gering sind. Bei hoher Belastung könnte jedoch auf diese Weise leicht unverhofft, wenn auch nur vorübergehend, Fäulnisfähigkeit des Abflusses eintreten.

Für die Ermittlung der tatsächlichen mittleren Leistung des Tropfkörpers kann nur der 3. Versuchsabschnitt herangezogen werden, da in den ersten beiden Abschnitten die Belastung für Versuchszwecke zum Teil sehr niedrig gehalten wurde. Auch die Beschickungsart mußte erst geklärt werden. Im 1. Versuchsabschnitt wurde vorausgesetzt, daß der Abwasseranfall eines Tages durch Rückhaltebecken gleichmäßig auf 24 h verteilt werden sollte, um eine Höchstleistung in der Zeiteinheit zu erzielen. Im 2. Versuchsabschnitt wurde versucht, die Tageswassermenge durch 16 h, also während der Hauptbelastungszeit gleichmäßig auf alle Tropfkörper zu verteilen und durch Übergreifen der Beschickungszeiten der einzelnen Körper auch den Nachtanfall zu decken. Im 3. Versuchsabschnitt wurde schließlich restlose Anpassung der Beschickungszeiten der Körper an die Wassermengenlinie erstrebt, wie noch gezeigt werden wird. Dadurch ergaben sich folgende monatliche Durchschnittsleistungen je Tag:

| | | | |
|---|---|---|---|
| März | 1936 | 2,00 : 1 | |
| April | » | 1,97 : 1 | |
| Mai | » | 2,08 : 1 | |
| Juni | » | 2,11 : 1 | |
| Juli | » | 1,76 : 1 | } Für Versuchszwecke gesenkt! |
| August | » | 1,38 : 1 | } |
| September | » | 2,24 : 1 | |
| Oktober | » | 2,17 : 1 | |
| November | » | 2,27 : 1 | |
| Dezember | » | 2,00 : 1 | |
| Januar | 1937 | 1,92 : 1 | |
| Februar | » | 2,04 : 1. | |

In den Monaten Juli und August wurde die Abhängigkeit des BSB von der Belastung ermittelt und auch für andere Versuche die Belastung gesenkt. Selbstverständlich kann auch in diesen Monaten die Leistung 2:1 durchgehalten werden.

Wenn die Möglichkeit besteht, den künstlich belüfteten Tropfkörper täglich durch mehrere Stunden außer Betrieb zu setzen und darüber hinaus in längeren Zeitabständen 16stündige und unter Umständen 24stündige Lüftungszeiten ohne Beschickung einzuschalten, dann kann für die Beuthener Verhältnisse eine Tagesleistung von 2 m³ Abwasser je m³ Material dauernd erzielt werden, ohne eine Verschlammung befürchten zu müssen. Das biologisch gereinigte Abwasser ist dann sicher fäulnisunfähig. Der biochemische Sauerstoffbedarf in 5 Tagen schwankt für das von den absetzbaren Stoffen befreite Abwasser zwischen 20 und 40 mg/l, er kann jedoch im Winterhalbjahr vorübergehend durch Verschlammung auf den doppelten Wert emporschnellen, allerdings ohne Gefährdung der Haltbarkeit des Abflusses. Begnügt man sich mit einer um 25 bis 30% verminderten Leistung, dann kann volle biologische Reinigung erzielt werden (BSB 5 = 10 bis 15 mg/l).

### 5. Grundlagen für die Bemessung der Beuthener Kläranlage.

Durch den Versuch konnten die grundlegenden Fragen für die Bemessung der biologischen Reinigungsanlage der Stadt Beuthen geklärt werden, so daß dem Ausbau nach diesem Verfahren keine Bedenken mehr im Wege standen. Da geschlossene Tropfkörper nur ungefähr 50% höhere Baukosten verursachen als offene Tropfkörper gleicher Größe, die Leistung sich aber mehr als verdoppelt, war auch die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens gegeben. Für den Ausbau ergaben sich daher folgende Richtlinien:

1. Die Anlage soll einen Wasseranfall von täglich 14000 m³ biologisch reinigen können. Bei einer Tagesleistung von 2 : 1 je Körper sind 7000 m³ Schlacke erforderlich. Gewählt werden:

6 Körper Dmr. 18,5 m und 4,00 m hoch mit
6 · 1075 = . . . . . 6450 m³
Vorhandener Versuchskörper. . . . . 610 »
7060 m³

Die höchste spezifische Belastung beträgt das 1,5fache, also 3 : 1. Beim Ausfall eines Körpers stehen nur mehr 7060 — 1075 = 5985 m³ Schlacke zur Verfügung mit einer Tagesleistung von 14000 : 5985 = 2,34 : 1 und der spezifischen Belastung von 2,34 · 1,5 = 3,5 : 1.

Abb. 20 zeigt den Betriebsplan für diesen Ausbau. Bei einer spezifischen Belastung von 3 : 1 entfällt auf die neuen Tropfkörper je 135 m³/h und auf den vorhandenen Versuchskörper 76 m³/h. Wenn sich die einzelnen Tropfkörper durch entsprechende Vorkehrungen in der Reihenfolge 1 bis 7 einschalten und nach Vorliegen des Untersuchungsergebnisses um 17ʰ die Reihenfolge um 2 Körper verschoben wird, dann ergeben sich für diesen Tag folgende Beschikkungszeiten:

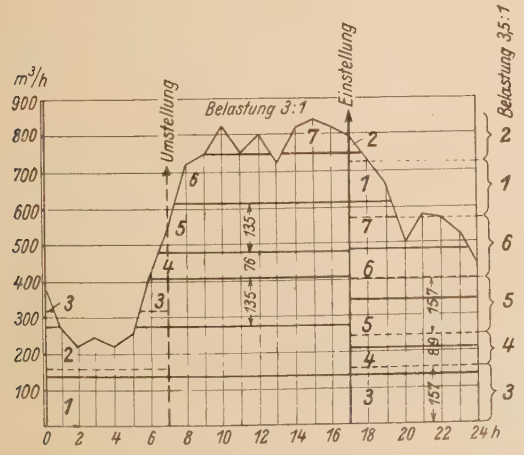


Abb. 20. Betriebsplan.

| Körper | Beschickung 3 : 1 Beschickungszeit | Ruhepausen | Bemerkung |
|---|---|---|---|
| 1 | 19,5 h | 4,5 h | |
| 2 | 18 » | 6 » | teilweise schwächer beschickt |
| 3 | 20 » | 4 » | |
| 4 | 18 » | 6 » | |
| 5 | 17,5 » | 6,5 » | |
| 6 | 16,5 » | 7,5 » | |
| 7 | 13,5 » | 10,5 » | schwach beschickt |

Auf diese Weise ergeben sich kürzere und längere Ruhepausen, die im Sinne der Schlammbekämpfung sehr erwünscht sind. Der Körper Nr. 7 wird besonders geschont, und man hat es nach Belieben in der Hand, den erholungsbedürftigen Körper an diese Stelle zu setzen. Da Sonntag nur 70 bis 80% der durchschnittlichen Wochentagswassermenge anfällt, kann daher einmal wöchentlich immer ein Körper (oder auch zwei) ganztägig stillgesetzt werden. Will man darüber hinausgehen und einem Körper noch mehr Schonung angedeihen lassen, dann kann man mit Ausnahme der Hauptbelastungszeit von 7 bis 17ʰ die spezifische Belastung auf 3,5 : 1 steigern. Die Stundenleistung beträgt dann für die neuen Körper 157 m³ und für den alten Körper 89 m³. Der Beschickungsplan gestaltet sich dann wie folgt (Abb. 20):

| Körper | Beschickung | Pause | Bemerkung |
|---|---|---|---|
| 1 | 19,5 h | 4,5 h | |
| 2 | 18 » | 6 » | teilweise schwach beschickt |
| 3 | 19,5 » | 4,5 » | |
| 4 | 18 » | 6 » | |
| 5 | 17,5 » | 6,5 » | |
| 6 | 16,5 » | 7,5 » | |
| 7 | 7 » | 17 » | schwach beschickt |

Der Körper 7 kann leicht ganz ausgeschaltet werden, wenn man die geringen Spitzenwerte tagsüber gleichmäßig auf die übrigen Körper aufteilt. Man kann nach Bedarf auch andere Variationen wählen, jedenfalls ist man leicht in der Lage, einen stark verschlammten Körper auch mitten im Winter der Entschlammung zuzuführen, wenn es die Umstände erfordern. Nach dieser Beschickungsart wurde der Versuchskörper im 3. Versuchsabschnitt ein Jahr hindurch erprobt.

2. Die Luft ist im Sommerhalbjahr im Gleichstrom, im Winterhalbjahr im Gegenstrom zum Abwasser durch den Körper zu leiten. Eine Vorwärmung der Luft im Winter ist vollkommen zwecklos. Die Luftmenge wird zweckmäßig mindestens mit der 40 bis 50fachen Wassermenge zu bemessen sein.

3. Die Mückenfrage ist bei dieser Art der Belüftung als gelöst zu betrachten. Die Mücken bleiben auch im Sommer im Tropfkörper eingeschlossen und können nicht belästigend wirken.

4. Die Abluft wird im Sommer wenig, im Winter stärker belästigend in Erscheinung treten. Völlige Geruchlosigkeit ist nicht zu erwarten. Die Abluft wird daher durch einen unterirdischen Kanal in einen zufällig auf der Beuthener Anlage vorhandenen, etwa 40 m hohen Schornstein geleitet und in dieser Höhe abgeblasen. Eine Geruchsbelästigung wird dann nicht mehr erwartet, doch ist die Zwischenschaltung eines Geruchsfilters jederzeit möglich.

5. Die Korngröße war für den Versuchskörper jedenfalls zu klein gewählt worden. Für den Kornaufbau kommen folgende Schichtungen in Frage:

20 cm Tragschicht 15 bis 20 cm Dmr.
280 » Hauptreinigungszone 5 bis 7 cm Dmr.

80 cm Übergangszone 6 steigend bis 15 cm Dmr.
20 » Deckschicht 15 bis 20 cm Dmr.

Ein nennenswerter Leistungsabfall wird durch die größere Körnung nicht befürchtet.

6. Die absetzbaren Schwebestoffe müssen mit Rücksicht auf die ungünstigen Vorflutverhältnisse und ihren großen biochemischen Sauerstoffbedarf durch Nachklärbecken ausgeschieden werden.

### 6. Schlußbetrachtung.

Wenn diese Versuchsergebnisse auf andere Verhältnisse übertragen werden sollen, dann muß vor allem berücksichtigt werden, daß der Verschmutzungsgrad des Beuthener Abwassers besonders hoch ist (80 bis 90 l Abwasser je Kopf und Tag). Am besten geben darüber nachstehende Durchschnittswerte für das mechanisch vorgereinigte Abwasser (Tropfkörperzufluß) während der Hauptverschmutzungszeit Aufschluß:

| | unfiltriert | filtriert |
|---|---|---|
| Kaliumpermanganatverbrauch | 500— 600 mg/l | 300—380 mg/l |
| Biochemischer Sauerstoffbedarf (5) | 400— 500 » | 300—450 » |
| Abdampfrückstand | 1600—1700 » | — |
| Glührückstand | 900—1000 » | — |
| Glühverlust | 600— 700 » | 300—500 » |
| Chlor gebunden | — | 250—300 » |
| Gesamtstickstoff | — | 100—150 » |

Bei geringerem Verschmutzungsgrad können demnach wesentlich höhere Leistungen erzielbar sein, wobei nur darauf hingewiesen sei, daß in anderen Städten Deutschlands der Kopfwasserverbrauch häufig doppelt so groß und noch darüber sein kann. Naturgemäß kann dann die Konzentration auf die halben Werte oder darunter absinken und die Leistung sich unter Umständen dementsprechend erhöhen.

Ein gleiches gilt für die Verschlammungsgefahr. Auch hier sind die Verhältnisse sehr verschieden, doch kann darüber am besten ein kleiner Vorversuch Aufschluß geben. Wenn man einen kleinen Versuchstropfkörper nur durch 4 bis 6 Wochen der geplanten Belastung aussetzt, erhält man darüber zweifellos besseren Einblick, als durch alle chemischen Analysen. In ähnlichem Sinne wird auch die Geruchsfrage zu beurteilen sein. Die vorliegenden Versuchsergebnisse zeigen jedenfalls, daß auch unter schwierigsten Verhältnissen dieses Reinigungsverfahren anwendbar ist, wenn plangemäß und zielbewußt vorgegangen wird.

Nach den bisherigen Ausführungen wird auch klar sein, daß die volle biologische Reinigung mit künstlich belüfteten Tropfkörpern allein nicht immer wirtschaftlich gerechtfertigt sein wird, da die Leistungsfähigkeit mit zunehmendem Reinheitsgrad stark absinkt (Abb. 19). Besonders geeignet erscheint dieses Verfahren deshalb immer dann, wenn nur eine Teilreinigung des Abwassers geplant ist, sei es daß der Vorfluter genügend leistungsfähig ist, um auf Vollreinigung verzichten zu können oder daß die Vollreinigung in ertragreicherer Form durch Berieselung, Verregnung oder in Fischteichen erfolgen soll. Die hohe Belastungsmöglichkeit bei weitgehender Sicherheit gegen Verschlammung und der Umstand, daß die Tropfkörper auch zeitweise stillgesetzt werden können, ohne befürchten zu müssen, daß der Körper bei anhaltender Belüftung seinen aeroben Gesamtzustand verliert, die rasche Wiedereinarbeitung nach längerer Unterbrechung und auch der geringe Platzbedarf macht dieses Verfahren z. B. auch besonders geeignet, wenn bei schwachen Vorflutverhältnissen eine biologische Reinigung nur während der Zeiten des Niedrigwasserstandes oder während der warmen Jahreszeit erforderlich ist. In diesem Falle kann das Verfahren auf Wunsch ganz ausgeschaltet oder bei Bedarf die Reinigung gerade nur bis zur Fäulnisunfähigkeit vorgenommen werden, während auf die Vollreinigung in solchen Fällen meist ganz verzichtet werden kann. Gleiches gilt für die Ausscheidung der weitgehend humifizierten, absetzbaren Schwebestoffe im Abfluß, die bekanntlich der Fäulnis schwer zugänglich sind, so daß man vielfach auch auf die teure Nachklärung ganz verzichten können wird.

In diesem Sinne können drei Reinigungsgrade unterschieden werden:

1. Die Reinigung gerade bis zur Fäulnisunfähigkeit, ohne Entfernung der absetzbaren Schwebestoffe.
2. Die Reinigung wie vor, jedoch mit Beseitigung der absetzbaren Schwebestoffe.
3. Die Vollreinigung mit Entfernung der absetzbaren Schwebestoffe (BSB 5 = 10 — 15 mg/l).

Dieses Reinigungsverfahren bietet daher auch neue Möglichkeiten, wenn die Geruchsbelästigung das Verrieseln oder Verregnen des biologisch nicht vorbehandelten Abwassers verbietet. Man könnte dann je nach den jahreszeitlichen Verhältnissen oder dem landwirtschaftlichen Bedarf keine oder eine beliebige der vorgenannten biologischen Reinigungsgrade vorschalten, je nachdem die Felder vorwiegend gedüngt oder bewässert werden sollen. Die Geruchsbelästigung kann dann nach Wunsch herabgesetzt oder ganz vermieden werden, ohne daß auf die landwirtschaftliche Nutzung des Abwassers ganz verzichtet werden muß. In ähnlicher Weise wäre auch der Betrieb von Fischteichen für die Nachreinigung denkbar, besonders dann, wenn nicht genügend Verdünnungswasser zur Verfügung steht. Diese Arten der Vollreinigung mit biologisch vorbehandeltem Abwasser erscheinen jedenfalls wirtschaftlicher und nutzbringender, als durch Vollreinigung mit diesem Verfahren allein die noch verwertbaren organischen Substanzen des Abwassers restlos zu vernichten.

## V. Schrifttum.


(1) Kleine Mitteilungen des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene E.V. 8 (1932) H. 1/6, Chemisches Heft.

(2) Viehl, K. Der Einfluß der Temperatur auf die biologische Abwasserreinigung. Gesundh.-Ing. 58 (1935) S. 555/558.

(3) Fair, Gordon M. Die Tropfkörperfliege, ihre Lebensgewohnheiten und Bekämpfung. Übersetzt von Wendiggensen und Wieners, Essen. Z. Gesundheitstechn. Städtehyg. 27 (1935) S. 163/171.

(4) Kemper, H. Über die Bekämpfung der Schmetterlingsmücke Psychoda auf Tropfkörperanlagen. (Sammelreferat.) Z. Gesundheitstechn. Städtehyg. 25 (1933) S. 283/287.

(5) Zuelzer, M. Beitrag zur Kenntnis der Entwicklung von Psychoda sexpunctata Curtis. Mitt. Königl. Prüfungsanstalt Wasserversorgg. Abwasserbeseitigg. 1909 S. 213/224.

(6) Beger, H. Biologische Reinigung in dünner Abwasserschicht. Beiheft zum Gesundh.-Ing. Reihe II H. 15. München u. Berlin 1935.

(7) Kolkwitz u. Marsson, Grundsätze für die biologische Beurteilung des Wassers nach seiner Fauna und Flora. Mitt. Königl. Landesanstalt. (1902/03) H. 1.

(8) Kolkwitz, Zur Biologie der Wilmersdorfer Kläranlage bei Stahnsdorf. Mitt. Königl. Prüfungsanstalt Wasserversorgg. Abwasserbeseitigg. (1910) H. 13.

(9) Imhoff, K. Taschenbuch der Stadtentwässerung. 7. Aufl. München u. Berlin 1936.

## VI. Lebenslauf des Verfassers.

Rudolf Pönninger wurde am 1. Februar 1898 in Wien geboren, besuchte daselbst die fünfklassige Volksschule und die siebenklassige Realschule und schloß diese Studien im Jahre 1916 mit der Hochschulreifeprüfung ab. Im April 1916 trat er als Kriegsfreiwilliger in das österreichische Heer ein, kämpfte an der russischen und italienischen Front, wurde im April 1918 zum Leutnant i. d. Res. ernannt und stand bis zum Kriegsende im Felde. In den Jahren 1918 bis 1923 besuchte er die Technische Hochschule in Wien und legte im Jahre 1923 die zweite Staatsprüfung aus dem Bauingenieurfache ab.

Von 1923 bis 1927 war er in Wien und von 1927 bis 1930 in Beuthen (Ob.-Schles.) als Statiker und Eisenbetonkonstrukteur bei verschiedenen Bauunternehmungen in Stellung und trat im Jahre 1930 in den Dienst der Stadt Beuthen. Dort war er zunächst Leiter der statischen Prüfungsstelle für den oberschlesischen Industriebezirk, übernahm im Jahre 1932 die Leitung des Neubaues der städtischen Kläranlage und später die Abteilung Stadtentwässerung des Stadtbauamtes.

Im Jahre 1931 erwarb er die Deutsche Staatsbürgerschaft durch Einbürgerung und wurde im Jahre 1935 unter Berufung in das Beamtenverhältnis bei der Stadtverwaltung Beuthen (Ob.-Schles.) planmäßig angestellt.